



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DIEGO ANTÔNIO CUSTÓDIO

**Conforto térmico de estudantes universitários em salas de aula com ventilação híbrida
em clima subtropical úmido**

FLORIANÓPOLIS

2024

DIEGO ANTÔNIO CUSTÓDIO

Conforto térmico de estudantes universitários em salas de aula com ventilação híbrida em clima subtropical úmido

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC), da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil

Orientador: EneDir Ghisi, PhD.

Coorientador: Ricardo Forgiarini Rupp, Dr.

FLORIANÓPOLIS

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Custódio, Diego Antônio

Conforto térmico de estudantes universitários em salas de aula com ventilação híbrida em clima subtropical úmido / Diego Antônio Custódio ; orientador, EneDir Ghisi, coorientador, Ricardo Forgiarini Rupp, 2024.
179 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Engenharia civil. 3. Conforto térmico. 4. Ventilação híbrida. 5. Modelo adaptativo. I. Ghisi, EneDir. II. Rupp, Ricardo Forgiarini. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

Diego Antônio Custódio

Conforto térmico de estudantes universitários em salas de aula com ventilação híbrida em clima subtropical úmido

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof^ª Solange Maria Leder, Dr^ª
Universidade Federal da Paraíba

Prof. Leonardo Marques Monteiro, Dr.
Universidade de São Paulo

Prof. Deivis Luis Marinoski, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutor em Engenharia Civil no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof^ª Fernanda Fernandes Marchiori, Dr^ª
Coordenadora do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil

Prof. Eneir Ghisi, PhD.
Orientador

Dedico este trabalho aos meus avós Antônio e Maria, pois sempre me apoiaram nos meus sonhos e projetos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por providenciar tudo que foi necessário para que eu pudesse chegar ao fim desta etapa acadêmica.

Aos meus pais e minha irmã porque em todos os momentos me incentivaram a continuar os estudos, mesmo diante de tantas dificuldades.

Aos meus avós (em memória), em especial à vó Maria, que partiu desta vida logo no primeiro ano do meu doutorado e que me apoiou de tantas maneiras para que eu continuasse esta pesquisa.

Aos meus tios Adélfica e Antônio, porque acreditaram em mim desde a aprovação no vestibular (em 2007) e me ajudaram de tantas formas a seguir e chegar até aqui.

Ao tio Cláudio, por ter me apoiado em um dos momentos mais importantes e mais difíceis da minha vida acadêmica. Por ter me ajudado de tantas formas a concluir a graduação e por vibrar comigo na minha formatura.

Ao professor Enedir, por todas as suas correções neste e em outros trabalhos. Por conduzir a orientação desta tese de forma impecável em todos os aspectos, por sua dedicação ao exercício da docência e da pesquisa. E, principalmente, por sempre me fazer acreditar no potencial das minhas pesquisas, mesmo diante das rejeições em diversas revistas.

Ao Ricardo Rupp, coorientador deste trabalho, a quem devo tanto. Por todas as suas correções técnicas, pelas incontáveis reuniões à distância e por seus comentários inspiradores e animadores sobre esta pesquisa.

Ao professor Deivis Luis Marinoski (UFSC), ao professor Leonardo Marques Monteiro (FAU-USP) e à professora Solange Maria Leder (UFPB) por seus valiosos comentários, correções e sugestões na avaliação deste trabalho.

Ao professor Saulo Güths (LMPT-UFSC) e sua equipe, por terem feito todos os ajustes e calibração das estações microclimáticas utilizadas nesta pesquisa.

Aos colegas do LabEEE, em especial Aline e Thayane, pelas conversas e pelo apoio.

Aos professores do programa de pós-graduação em engenharia civil que, de alguma forma, contribuíram para minha formação desde o mestrado.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil da UDESC, que foi a minha casa por tantos anos como estudante de graduação e como docente.

Aos colegas do Departamento de Fiscalização de Obras da UFSC, por me receberem tão bem em um novo desafio profissional com a tese ainda em curso.

À Andreza Kalbusch, pela sua amizade, pelas risadas, por ser a precursora de tudo isso e por me mostrar uma vida acadêmica humanizada.

À Patrícia Becker, Adriana Goulart, Tania Oneda, por se fazerem presentes de tantas maneiras ao longo dessa pesquisa.

À Myrrena Inácio e Karina Becker por dividirem tantas conversas nos intervalos de aula do Departamento de Engenharia Civil da UDESC ao longo desses últimos anos.

À Jessica Kulevicz, Ana Carolina Augusto, Thalia Macaris Camila Souza e Mariana Vieira por se fazerem presentes mesmo à distância. Pelas nossas videochamadas que encurtaram a distância entre SC, PR e RS.

À Camila Isaton, Nagilla e a Thamires, por terem sempre me motivado a não desistir deste projeto, por todos os cafés, conversas e lamentações que dividimos durante o período que fomos colegas docentes na mesma instituição.

E, finalmente, um agradecimento muito especial a todos os professores e estudantes que aceitaram responder e participar do estudo de campo durante os anos de 2022 e 2023, sem os quais, esta pesquisa seria impossível.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar o conforto térmico de estudantes em salas de aula de universidades localizadas em Joinville/SC e São José/SC que operam em condições de ventilação natural e condicionamento artificial. Um estudo de campo foi realizado durante dez meses em 28 salas de aula e contou com a participação de 2034 estudantes. As salas de aula possuíam ar-condicionado do tipo *split* e janelas, ambos operáveis livremente por estudantes e professores. Utilizando duas estações microclimáticas, foram realizadas medições ambientais no mesmo instante em que questionários de conforto térmico eram aplicados. Foram obtidas 13200 respostas válidas ao longo de 140 dias de levantamentos. Os dados coletados durante o estudo de campo foram organizados em uma planilha e cada resposta de cada estudante foi associada aos seus respectivos hábitos e preferências pessoais, às condições socioeconômicas, e às condições ambientais internas e externas. A partir desse banco de dados, uma análise estatística foi conduzida para responder aos objetivos propostos. Foram realizadas comparações entre as respostas subjetivas dos estudantes com os modelos de conforto térmico analítico e adaptativo. Em seguida, foram desenvolvidos modelos de conforto térmico analítico e adaptativo para as salas de aula estudadas. Para responder ao objetivo geral desta tese, inicialmente foi necessário criar um subconjunto dos dados coletados em campo. Os dados foram agrupados a partir de quatro aspectos relacionados ao contexto socioeconômico: faixa de renda, situação de trabalho, curso de graduação e etnia. Utilizando o teste estatístico de Kruskal-Wallis, um subconjunto de dados foi criado a partir do conjunto de dados inicial. Este subconjunto foi desenvolvido com respostas de estudantes que possuíam características pessoais similares e que estavam submetidos às condições ambientais similares. O teste de Kruskal-Wallis foi novamente aplicado a este novo conjunto de dados para os votos de sensação térmica com o objetivo de verificar se havia diferenças significativas para os votos de sensação térmica entre os grupos de diferentes contextos socioeconômicos. Durante os estudos de campo, a temperatura média do ar externo foi 25,0°C em Joinville e 23,6°C em São José. O isolamento médio de roupas dos estudantes foi 0,73 clo em Joinville e 0,78 clo em São José. As temperaturas médias de conforto térmico de Griffiths para Joinville e São José foram 23,6°C e 22,8°C, respectivamente. As principais conclusões desta tese são: o modelo de conforto térmico PMV/PPD (*Predicted Mean Vote/Predicted Percentage of Dissatisfied*) não foi capaz de prever o voto médio dos estudantes na maioria dos casos, o que pode ser resultado da liberdade que os estudantes tinham em executar ações adaptativas; durante a operação com ventilação natural os estudantes, em geral, se mostravam mais satisfeitos com o ambiente térmico e durante o uso do ar-condicionado, os estudantes eram menos tolerantes a variações da temperatura interna; em todos os casos (ventilação natural e ar-condicionado), a temperatura preferida pelos estudantes foi superior à temperatura de neutralidade térmica; os modelos de conforto térmico adaptativos desenvolvidos nesta tese apresentaram faixas um pouco mais estreitas e ligeiramente deslocadas para baixo em relação aos modelos da ASHRAE, o que indica a necessidade de modelos de conforto térmico específicos para diferentes usuários (estudantes, neste caso); não foram encontradas evidências de que há diferenças significativas no conforto térmico de estudantes que pertencem a diferentes cursos de graduação e diferentes classes sociais, quando submetidos a condições térmicas similares.

Palavras-chave: conforto térmico; salas de aula; modelo adaptativo; modelo analítico; universidades; clima subtropical úmido.

ABSTRACT

This study aims to analyze students' thermal comfort in classrooms at universities located in *Joinville/SC* and *São José/SC* in naturally ventilated or air-conditioned classrooms. A field study was conducted in 28 classrooms over ten months and involved 2034 students. The classrooms had split air-conditioning and windows, both freely operable by students and teachers. Using two microclimatic stations, environmental measurements were carried out while thermal comfort questionnaires were applied. Thirteen thousand two hundred valid responses were obtained over 140 days of surveys. The data collected during the field study was organized in a spreadsheet, and each student's response was associated with their respective personal habits and preferences, socioeconomic conditions, and internal and external environmental conditions. A statistical analysis was conducted using such a database to respond to the objectives proposed. Comparisons were made between the students' subjective responses with the analytical and adaptive thermal comfort models. Next, analytical and adaptive thermal comfort models were developed for the classrooms studied. To respond to the general objective of this thesis, it was initially necessary to create a subset of the data collected in the field. The data were grouped based on four socioeconomic contexts: income range, work situation, undergraduate course and ethnicity. Using the Kruskal-Wallis statistical test, a subset of data was created from the initial data set. This subset was developed with responses from students who had similar personal characteristics and were subjected to similar environmental conditions. The Kruskal-Wallis test was again applied to this new dataset for thermal sensation votes to check whether there were significant differences in thermal sensation votes between groups from different socioeconomic backgrounds. During the field studies, the average external air temperature was 25.0°C in Joinville and 23.6°C in São José. The average insulation of students' clothing was 0.73 clo in Joinville and 0.78 clo in São José. Average thermal comfort temperatures from Griffiths to Joinville and São José were 23.6°C and 22.8°C, respectively. The main conclusions of this thesis are: the thermal comfort model PMV/PPD (Predicted Mean Vote/Predicted Percentage of Dissatisfied) was not able to predict the average vote of students in most cases, which may be a result of the freedom that students had to carry out adaptive actions; during operation with natural ventilation, in general, students were more satisfied with the thermal environment and during the use of air-conditioning, students were less tolerant to variations in indoor temperature; in all cases (natural ventilation and air-conditioning) the temperature preferred by the students was higher than the temperature of thermal neutrality; the adaptive thermal comfort models developed in this thesis presented slightly narrower ranges and slightly shifted downwards in relation to the ASHRAE models, which indicates the need for specific thermal comfort models for different users (students in this case); no evidence was found that there are significant differences in the thermal comfort of students belonging to different undergraduate courses and different social classes, when subjected to similar thermal conditions.

Keywords: thermal comfort; classroom; adaptive model; analytical model; universities; humid subtropical climate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelos de conforto térmico adaptativo de diferentes normas.....	31
Figura 2 - Voto de sensação térmica versus temperatura operativa nas salas de aula da Universidade Tianjin Chengjian, Tianjin, na China.....	33
Figura 3 - Voto de sensação térmica versus temperatura operativa nas salas de aula do Instituto Nacional de Tecnologia, na Índia.....	34
Figura 4 - Voto de sensação térmica versus temperatura operativa para diferentes velocidades do ar nas salas de aula do Instituto Nacional de Tecnologia, na Índia.....	34
Figura 5 - Voto de sensação térmica versus temperatura operativa para cada estação do ano nas salas de aula da Universidade de Arquitetura e Tecnologia de Xi'an, na China.....	35
Figura 6 - Voto de sensação térmica versus temperatura operativa nas salas de aula universitárias localizadas no Equador.....	36
Figura 7 - Voto de sensação térmica versus temperatura operativa nas salas de aula universitárias localizadas em Bangladesh.....	37
Figura 8 - Voto de sensação térmica versus temperatura operativa nas salas de aula universitárias localizadas em Taiuã, na China.....	38
Figura 9 - Voto de sensação térmica versus temperatura operativa nas salas de aula universitárias localizadas na Malásia e no Japão.....	39
Figura 10 - Comparação entre as temperaturas de conforto por meio do método de Griffiths e regressão linear.....	43
Figura 11 – Diferenças entre as temperaturas de conforto obtidas por meio método de Griffiths e de regressão em relação à temperatura externa.....	44
Figura 12 – Valores de isolamento de vestimenta para os estudos de conforto revisados que foram desenvolvidos em salas de aula de universidades.....	48
Figura 13 – Relação entre o voto de sensação térmica em casa e na sala de aula categorizado pela classe social de crianças em escolas do Reino Unido.....	50
Figura 14 – Comparação das temperaturas médias preferidas pelos indivíduos europeus e asiáticos em um experimento de câmara climática.....	51
Figura 15 – Etapas da pesquisa.....	55
Figura 16 – Localização das edificações estudadas.....	56
Figura 17 – Edificações selecionadas para o estudo de campo.....	57
Figura 18 – Planta baixa de uma das salas de aula utilizadas no estudo de campo.....	59
Figura 19 – Imagens das salas de aula utilizadas no estudo de campo.....	59

Figura 20 – Voto de sensação térmica com escala contínua.	63
Figura 21 – Planejamento de aplicação dos questionários.	64
Figura 22 - Modelo de regressão logística para probabilidade de desconforto por frio e por calor.	71
Figura 23 – Aspectos socioeconômicos analisados.	75
Figura 24 – Obtenção de grupos com variáveis estatisticamente semelhantes.	76
Figura 25 - Procedimento para agrupamento de votos de sensação térmica submetidos a condições ambientais e pessoais similares.	79
Figura 26 – Temperatura mínima, média e máxima mensal em Joinville.....	81
Figura 27 – Umidade relativa do ar mínima, média e máxima mensal em Joinville.	82
Figura 28 – Temperatura mínima, média e máxima mensal em São José.....	82
Figura 29 – Umidade relativa do ar mínima, média e máxima mensal em São José.	83
Figura 30 – Mínimo, máximo e média das variáveis pessoais da amostra de estudantes agrupada por curso de graduação.	85
Figura 31 - Mínimo, máximo e média do isolamento de vestimenta da amostra de estudantes agrupada por curso de graduação e gênero.....	87
Figura 32 - Mínimo, máximo e média da idade da amostra de estudantes agrupada por curso de graduação e gênero.	87
Figura 33 - Mínimo, máximo e média do peso da amostra de estudantes agrupada por curso de graduação e gênero.	88
Figura 34 - Mínimo, máximo e média da altura da amostra de estudantes agrupada por curso de graduação e gênero.	88
Figura 35 – Isolamento médio de vestimenta em função da temperatura do ar externo.	89
Figura 36 – Teste de Kruskal-Wallis para o isolamento de vestimenta da amostra de estudantes agrupada por curso de graduação.	90
Figura 37 - Voto médio de sensação térmica dos estudantes comparado ao modelo PMV/PPD na cidade de Joinville.	93
Figura 38 - Voto médio de sensação térmica dos estudantes comparado ao modelo PMV/PPD na cidade de São José.	95
Figura 39 – Comparação entre os votos de sensação térmica dos estudantes com o modelo de conforto térmico adaptativo da ASHRAE para as salas de aula de Joinville operando com ventilação natural.....	100

Figura 40 – Comparação entre os votos de sensação térmica dos estudantes com o modelo de conforto térmico adaptativo da ASHRAE para as salas de aula de Joinville operando com ar-condicionado.....	100
Figura 41 – Comparação entre os votos de sensação térmica dos estudantes com o modelo de conforto térmico adaptativo da ASHRAE para as salas de aula de São José operando com ventilação natural.....	101
Figura 42 – Comparação entre os votos de sensação térmica dos estudantes com o modelo de conforto térmico adaptativo da ASHRAE para as salas de aula de São José operando com ar-condicionado.....	101
Figura 43 – Temperatura de neutralidade térmica dos estudantes de Joinville nas salas de aula operando com ventilação natural.....	105
Figura 44 – Temperatura de neutralidade térmica dos estudantes de Joinville nas salas de aula operando com ar-condicionado.	105
Figura 45 – Temperatura de neutralidade térmica dos estudantes de São José nas salas de aula operando com ventilação natural.....	106
Figura 46 – Temperatura de neutralidade térmica dos estudantes de São José nas salas de aula operando com ar-condicionado.	107
Figura 47 – Preferência térmica dos estudantes de Joinville nas salas de aula operando com ventilação natural.....	108
Figura 48 – Preferência térmica dos estudantes de Joinville nas salas de aula operando com ar-condicionado.....	108
Figura 49 – Preferência térmica dos estudantes de São José nas salas de aula operando com ventilação natural.....	109
Figura 50 – Preferência térmica dos estudantes de São José nas salas de aula operando com ar-condicionado.....	109
Figura 51 – Modelo adaptativo para a temperatura de neutralidade térmica nas salas de aula de Joinville operando com ventilação natural.	111
Figura 52 – Modelo adaptativo para a temperatura de neutralidade térmica nas salas de aula de Joinville operando com ar-condicionado.....	111
Figura 53 – Modelo adaptativo para a temperatura de neutralidade térmica nas salas de aula de São José operando com ventilação natural.	112
Figura 54 – Modelo adaptativo para a temperatura de neutralidade térmica nas salas de aula de São José operando com ar-condicionado.....	112
Figura 55 – Modelo adaptativo para a temperatura de conforto de Griffiths nas salas de aula de Joinville operando com ventilação natural.	113

Figura 56 – Modelo adaptativo para a temperatura de conforto de Griffiths nas salas de aula de Joinville operando com ar-condicionado.....	114
Figura 57 – Modelo adaptativo para a temperatura de conforto de Griffiths nas salas de aula de São José operando com ventilação natural.....	115
Figura 58 – Modelo adaptativo para a temperatura de conforto de Griffiths nas salas de aula de São José operando com ar-condicionado.....	115
Figura 59 – Percentual de desconforto térmico real e previsto (regressão logística) em função do deslocamento da temperatura de conforto térmico de Griffiths para salas de aula operando com ventilação natural em Joinville.....	116
Figura 60 – Percentual de desconforto térmico real e previsto (regressão logística) em função do deslocamento da temperatura de conforto térmico de Griffiths para salas de aula operando com ar-condicionado em Joinville.....	116
Figura 61 – Percentual de desconforto térmico real e previsto (regressão logística) em função do deslocamento da temperatura de conforto térmico de Griffiths para salas de aula operando com ventilação natural em São José.....	117
Figura 62 – Percentual de desconforto térmico real e previsto (regressão logística) em função do deslocamento da temperatura de conforto térmico de Griffiths para salas de aula operando com ar-condicionado em São José.....	117
Figura 63 – Modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula de Joinville operando com ventilação natural.....	120
Figura 64 – Modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula de Joinville operando com ar-condicionado.....	120
Figura 65 – Modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula de São José operando com ventilação natural.....	122
Figura 66 – Modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula de São José operando com ar-condicionado.....	122
Figura 67 – Temperatura de neutralidade térmica dos estudantes nas salas de aula operando com ventilação natural.....	124
Figura 68 – Temperatura de neutralidade térmica dos estudantes nas salas de aula operando com ar-condicionado.....	125
Figura 69 – Preferência térmica dos estudantes nas salas de aula operando com ventilação natural.....	126
Figura 70 – Preferência térmica dos estudantes nas salas de aula operando com ar-condicionado.....	126
Figura 71 – Modelo adaptativo para a temperatura de neutralidade térmica nas salas de aula operando com ventilação natural.....	127

Figura 72 – Modelo adaptativo para a temperatura de neutralidade térmica nas salas de aula operando com ar-condicionado.	128
Figura 73 – Modelo adaptativo para a temperatura de conforto de Griffiths nas salas de aula operando com ventilação natural.	129
Figura 74 – Modelo adaptativo para a temperatura de conforto de Griffiths nas salas de aula operando com ar-condicionado.	129
Figura 75 – Percentual de desconforto térmico real e previsto (regressão logística) em função do deslocamento da temperatura de conforto térmico de Griffiths para salas de aula operando com ventilação natural.	130
Figura 76 – Percentual de desconforto térmico real e previsto (regressão logística) em função do deslocamento da temperatura de conforto térmico de Griffiths para salas de aula operando com ar-condicionado.	131
Figura 77 – Modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula operando com ventilação natural.	132
Figura 78 – Modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula operando com ar-condicionado.	133
Figura 79 – Relação entre o voto de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a faixa de renda (ventilação natural).	136
Figura 80 – Relação entre o voto de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a faixa de renda (ar-condicionado).	136
Figura 81 – Relação entre o voto de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a situação de trabalho (ventilação natural).	137
Figura 82 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a situação de trabalho (ar-condicionado).	138
Figura 83 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com o curso de graduação dos estudantes homens (ventilação natural).	139
Figura 84 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com o curso de graduação das estudantes mulheres (ventilação natural).	140
Figura 85 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com o curso de graduação dos estudantes homens (ar-condicionado).	141
Figura 86 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com o curso de graduação das estudantes mulheres (ar-condicionado).	142
Figura 87 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a etnia dos estudantes homens (ventilação natural).	143
Figura 88 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a etnia das estudantes mulheres (ventilação natural).	144

Figura 89 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a etnia dos estudantes homens (ar-condicionado). 144

Figura 90 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a etnia das estudantes mulheres (ar-condicionado). 145

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Perfil dos estudantes avaliados.....	83
Tabela 2 – Percentual de estudantes que relataram “conforto” das salas de aula de Joinville operando com ventilação natural.....	94
Tabela 3 – Percentual de estudantes que relataram “conforto” das salas de aula de Joinville operando com ar-condicionado.	94
Tabela 4 – Percentual de estudantes que relataram “conforto” das salas de aula de São José operando com ventilação natural.....	98
Tabela 5 – Percentual de estudantes que relataram “conforto” das salas de aula de São José operando com ar-condicionado.	98
Tabela 6 – Percentual de estudantes de Joinville que relataram “conforto” ou “desconforto” por frio e por calor.	103
Tabela 7 – Equações de regressão logística da probabilidade de desconforto por frio e por calor em função da diferença entre a temperatura operativa e a temperatura de conforto térmico.	118
Tabela 8 – Faixas de temperatura de conforto térmico para cada modo de operação.	119
Tabela 9 – Equações dos limites superior e inferior dos modelos de conforto térmico adaptativo para temperaturas de conforto térmico para as salas de aula de Joinville.	121
Tabela 10 – Equações dos limites superior e inferior dos modelos de conforto térmico adaptativo para temperaturas de conforto térmico para as salas de aula de São José.	123
Tabela 11 – Equações de regressão logística da probabilidade de desconforto por frio e por calor em função da diferença entre a temperatura operativa e a temperatura de conforto térmico.	131
Tabela 12 – Faixas de temperatura de conforto térmico para cada modo de operação.	131
Tabela 13 – Equações dos limites superior e inferior dos modelos de conforto térmico adaptativo para temperaturas de conforto térmico (Griffiths) para as salas de aula de São José.	134
Tabela 14 – Médias e desvios padrões das variáveis ambientais e pessoais.	135
Tabela 15 – Temperaturas de conforto e de neutralidade térmica para salas de aula universitárias ventiladas naturalmente.	147
Tabela 16 – Temperaturas de conforto e de neutralidade térmica para salas de aula universitárias condicionadas artificialmente.	148

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Regressões entre o voto de sensação térmica e a temperatura operativa para salas de aula universitárias.	40
Quadro 2 – Modelos de conforto térmico adaptativo para salas de aula universitárias.	45
Quadro 3 – Influência do contexto socioeconômico no conforto térmico de estudantes.	52
Quadro 4 – Variáveis ambientais externas e internas envolvidas nesta pesquisa	67
Quadro 5 – Variáveis pessoais envolvidas nesta pesquisa	67
Quadro 6 – Índices de conforto térmico.	68
Quadro 7 – Variáveis consideradas para os grupos socioeconômicos.	68

SUMÁRIO

1. Introdução	21
1.1 Justificativa	25
1.2 Objetivos.....	28
1.2.1 Objetivo geral	28
1.2.2 Objetivos específicos.....	28
1.3 Estrutura do trabalho.....	28
2. Revisão de literatura	30
2.1 Modelos clássicos de conforto térmico.....	30
2.2 Modelos de conforto térmico para salas de aula.....	32
2.2.1 Sensação térmica	32
2.2.2 Temperatura de conforto	41
2.2.3 Modelos adaptativos	44
2.2.4 Conforto térmico em salas de aula no Brasil.....	46
2.3 Variáveis pessoais e o conforto térmico de estudantes universitários.....	47
2.3.1 Gênero	47
2.3.2 Idade	49
2.3.3 Contexto socioeconômico e cultural	49
2.4 Síntese da revisão de literatura	52
3. Método	55
3.1 Edificações selecionadas	55
3.2 Coleta de dados.....	58
3.2.1 Instrumentos utilizados.....	58
3.2.2 Medição e cálculo das variáveis ambientais internas.....	60
3.2.3 Medição e cálculo da temperatura externa	60
3.2.4 Densidade de ocupação das salas de aula.....	61
3.2.5 Questionário	61
3.2.6 Aplicação do questionário	63
3.3 Cálculo dos índices de conforto térmico	65
3.3.1 Voto médio estimado (PMV) e porcentagem estimada de insatisfeitos (PPD).....	65
3.3.2 Temperatura de neutralidade térmica	65
3.3.3 Temperatura preferida pelos estudantes	65

3.3.4	Temperatura de conforto	66
3.4	Modelo adaptativo	66
3.5	Resumo das variáveis envolvidas nesta pesquisa	66
3.6	Modelos de conforto térmico para salas de aula.....	68
3.6.1	Modelos de conforto térmico analítico para salas de aula.....	69
3.6.2	Modelos de conforto térmico adaptativo para salas de aula.....	69
3.7	Influência do contexto socioeconômico no conforto térmico.....	72
3.7.1	Aspectos socioeconômicos analisados	74
3.7.2	Amostra submetida a condições ambientais e pessoais similares	75
3.8	Análise dos dados	79
4.	Resultados e discussões.....	81
4.1	Perfil dos estudantes	83
4.2	Isolamento de vestimenta	89
4.3	Modelo PMV/PPD.....	91
4.4	Modelo adaptativo	98
4.5	Desenvolvimento de modelos de conforto térmico para as salas de aula por cidade.....	103
4.5.1	Sensação térmica	104
4.5.2	Preferência térmica.....	107
4.5.3	Modelos de conforto térmico adaptativo para temperatura de neutralidade térmica.....	110
4.5.4	Modelos de conforto térmico adaptativo para temperatura de conforto de Griffiths.....	113
4.5.5	Faixas de conforto para temperatura de conforto de Griffiths	115
4.6	Desenvolvimento de modelos de conforto térmico geral para as salas de aula...	123
4.6.1	Sensação térmica	123
4.6.2	Preferência térmica.....	125
4.6.3	Modelos de conforto térmico adaptativo para temperatura de neutralidade térmica.....	127
4.6.4	Modelos de conforto térmico adaptativo para temperatura de conforto de Griffiths.....	128
4.7	Influência do contexto socioeconômico	134
4.7.1	Aspecto A: faixa de renda per capita.....	135
4.7.2	Aspecto B: situação de trabalho	137

4.7.3 Aspecto C: curso de graduação	138
4.7.4 Aspecto D: etnias.....	142
4.8 Considerações finais sobre os resultados.....	145
5. Conclusões	150
5.1 Limitações da pesquisa	153
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	154
Referências	155
Apêndice A – Características físicas das salas de aula.....	168
Apêndice B - Questionário	173

1. Introdução

O crescimento contínuo do consumo de energia é uma realidade global. De acordo com a *Energy Information Administration* (EIA, 2023), o consumo total de energia primária em 1965 era de 12978 kWh/pessoa/ano e aumentou para 21039 kWh/pessoa/ano em 2022. De acordo com a *International Energy Agency* (IEA, 2023a), a demanda global de energia aumentou 6,3% de 2022 para 2023. Segundo o *United Nations Environment Programme* (2021), as edificações foram responsáveis por 36% do consumo de energia no ano de 2020 e 35% em 2019. Ainda de acordo com o *United Nations Environment Programme* (2021), a redução foi impulsionada por mudanças de uso das edificações devido à pandemia de COVID-19. Embora a situação de pandemia tenha modificado levemente o padrão de consumo energético, de acordo com a IEA (2023b), o consumo total de energia nos edifícios aumentou, em média, 1% ao ano. No Brasil, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2023), o consumo final de eletricidade aumentou 2,9% em 2023 (em relação ao ano anterior). De acordo com a IEA (2021a), em 2020 houve queda nas emissões de CO₂ motivada também pela pandemia de COVID-19. A redução da atividade do setor de serviços (resultante do teletrabalho, escolas fechadas e hotéis e restaurantes vazios) foi a principal razão pela qual os edifícios de serviços registraram a maior queda na demanda de energia e emissões de CO₂. No entanto, de acordo com a IEA (2021a), a energia consumida nos edifícios por metro quadrado em 2030, precisa ser 45% menor do que em 2020, para que sejam alcançadas as metas de emissões de CO₂ até 2050.

De acordo com a *International Energy Agency* (IEA, 2021b), em 2020, o resfriamento de ambientes representou 16% do consumo total de energia dos edifícios. Em 2022, o consumo de energia para refrigeração de ambientes aumentou 5% em relação a 2021 (IEA, 2023b). Para que seja possível alcançar emissões líquidas zero de CO₂ até 2050, uma das metas estabelecidas é a mudança do comportamento dos usuários, como o uso do ar-condicionado em faixas moderadas de 24°C a 25°C (IEA, 2023b). Estima-se que mudanças no comportamento dos usuários podem reduzir entre 5% e 30% o consumo de energia em edifícios comerciais (Zhang *et al.*, 2018). Assim como indicado nas metas de redução de emissões de CO₂ (IEA, 2023a), as estratégias adaptativas de conforto térmico têm chamado atenção de pesquisadores que enxergam como oportunidade de redução do consumo de energia em edificações (Barbadilla-Martín *et al.*, 2018; Bienvenido-Huertas *et al.*, 2020; Martell *et al.*, 2019; Ming *et al.*, 2020; Papadopoulos *et al.*, 2019; Park *et al.*, 2020; Prajongsan; Sharples, 2012). O aumento médio de 0,86°C na temperatura interna poderia reduzir em 8,6% o consumo de energia de onze prédios de escritórios chineses no verão (Wu *et al.*, 2019b). Adotando-se faixas de temperatura de

conforto diferentes para climas externos diferentes, Ming *et al.* (2020) relataram o potencial de economia de energia de 34,3% em prédios de escritórios na China. Em prédios comerciais e restaurantes dos Estados Unidos, também considerando faixas de temperatura de conforto diferentes para o inverno e verão, foi relatado o potencial de economia de energia de 2,5% (Gutierrez-Aliaga; Williams, 2016). Bienvenido-huertas *et al.* (2020) afirmam que, no mundo inteiro, existe potencial de aplicar estratégias de conforto adaptativo em 50% dos dias do ano.

No caso específico de salas de aula, um estudo desenvolvido na Universidade de Arquitetura e Tecnologia de Xi'an demonstrou que seria possível reduzir em até 16,9% o consumo de energia com a otimização dos horários utilizados para as aulas. A proposta dos autores era utilizar as salas em aulas vespertinas no período do outono e em aulas matutinas no período da primavera. Utilizando as salas de aula de acordo com a proposta dos autores, mais de 90% dos estudantes estariam confortáveis termicamente com menor consumo de energia para condicionamento do ar em comparação com os horários de aula tradicionais (Luo *et al.*, 2022).

Wu *et al.* (2019b) e Ming *et al.* (2020) exploraram a capacidade dos usuários de se adaptarem ao ambiente térmico e como isso influencia o consumo de energia nas edificações. No estudo de Jiang *et al.* (2020), em escolas primárias da China, estudantes que entravam em uma sala de aula, a partir de um ambiente externo mais frio, demonstravam maior aceitação a temperaturas internas mais baixas em relação aos estudantes que experimentaram um ambiente externo mais quente. A capacidade de adaptação térmica é afetada pelas exposições ao frio ou ao calor que os usuários tenham experimentado anteriormente (Jiang *et al.*, 2020; Luo *et al.*, 2018; Ming *et al.*, 2020), pois o clima externo influencia a forma como o usuário se veste (Gutierrez-Aliaga; Williams, 2016). Yan *et al.* (2019) encontraram diferenças significativas nas respostas térmicas entre usuários do Norte e do Sul da China. Usuários acostumados a viver e trabalhar em edifícios naturalmente ventilados têm mais habilidades de adaptação térmica (Yu *et al.*, 2012) e admitem temperaturas internas mais altas no verão (Singh *et al.*, 2019), assim como a exposição prolongada ao condicionamento de ar (para resfriamento) influencia as respostas térmicas em ambientes quentes (Buonocore *et al.*, 2019; Rupp *et al.*, 2018). No entanto, outros estudos relataram que o histórico térmico de longo prazo não tem influência significativa na percepção térmica dos usuários (Wu *et al.*, 2019a; Zhang *et al.*, 2016).

Além do histórico térmico, as características socioeconômicas influenciam a percepção de conforto térmico dos indivíduos (Antoniadou; Papadopoulos, 2017; Smith; Henríquez, 2019). Ao avaliar dados socioeconômicos de crianças de oito escolas do Reino Unido, Montazami *et al.* (2017) constataram que crianças oriundas de regiões periféricas eram mais

sensíveis ao calor. As percepções de conforto térmico também são afetadas pela idade dos usuários. Sabe-se, por exemplo, que o sistema de termorregulação dos idosos não funciona de maneira eficaz em resposta a estímulos repentinos de frio (Wang *et al.*, 2019). Além disso, os modelos adaptativos de conforto térmico não são precisos quando se avaliam idosos (Van Hoof *et al.*, 2017). Yun *et al.* (2014) relataram que as crianças se sentiam termicamente confortáveis a uma temperatura cerca de 3°C mais baixa que a dos adultos. Ao avaliar o conforto adaptativo em escolas primárias do Reino Unido, Korsavi e Montazami (2020) concluíram que as crianças eram mais sensíveis ao calor do que os professores. Apesar das crianças serem mais sensíveis ao calor, os comportamentos adaptativos, como a abertura de janelas, eram realizados pelos professores na maioria das vezes (Korsavi; Montazami, 2020). O contrário é percebido em escolas secundárias e universidades onde os estudantes possuem mais liberdade de fazer ajustes como alterar o isolamento por vestimenta, ligar o ventilador ou abrir janelas (Singh *et al.*, 2019). Em escolas secundárias árabes, a temperatura de neutralidade térmica entre estudantes do sexo feminino e masculino eram, respectivamente, 24,3°C e 26,1°C (Al-Khatiri; Alwetaishi; Gadi, 2020). A questão de gênero também foi estudada por Yun *et al.* (2014), que relataram que as meninas de salas de aula de um jardim de infância estavam confortáveis a uma temperatura 1°C mais baixa que a dos meninos.

As salas de aula são espaços utilizados para desenvolvimento de diversas capacidades dos estudantes. Esse desenvolvimento cognitivo dos estudantes pode ser afetado pelas condições térmicas do ambiente. Diversos estudos demonstram que o ambiente térmico insatisfatório pode comprometer a aprendizagem e o desempenho dos estudantes (Hassanain; Iftikhar, 2015; Haverinen-Shaughnessy *et al.*, 2015; Jiang *et al.*, 2018; Mendell; Heath, 2005). Há relatos do desempenho de estudantes em sala de aula influenciado pela qualidade do ar (Wargocki *et al.*, 2020) e pela variação de temperatura (Wang *et al.*, 2018). Wargocki *et al.* (2019) revisaram dezoito estudos e concluíram que a redução de 30°C para 20°C, em salas de aula, pode aumentar em 20% o desempenho dos estudantes. Em São José dos Campos, no estado de São Paulo, Barbic *et al.* (2022) demonstraram que estudantes da Faculdade de Fisioterapia tiveram desempenho cognitivo melhor quando a temperatura interna era 18,4°C, comparado à temperatura neutra de 21,5°C. Haverinen-Shaughnessy e Shaughnessy (2015) avaliaram os efeitos das taxas de ventilação em 70 escolas dos Estados Unidos. Os autores relataram correlação estatisticamente significativa entre as taxas de ventilação das salas de aula e as pontuações em testes de matemática padronizados (Haverinen-Shaughnessy; Shaughnessy, 2015).

Pesquisas anteriores levantaram a hipótese de que o contexto socioeconômico tem influência no conforto térmico dos estudantes. Montazami *et al.* (2017) realizaram um estudo em oito escolas do Reino Unido e concluíram que as crianças de origem socioeconômica privilegiada utilizavam mudanças pessoais (ajuste de roupas) para alcançar o conforto térmico, enquanto as crianças desfavorecidas socioeconomicamente utilizavam mudanças ambientais (abertura de janelas) para obter conforto térmico. Trebilcock *et al.* (2017) investigaram quatro escolas no Chile e concluíram que a temperatura de conforto dos estudantes em situação de vulnerabilidade socioeconômica era 1,9°C menor do que a temperatura de conforto dos estudantes em situação socioeconômica privilegiada. Os resultados de Montazami *et al.* (2017), Trebilcock *et al.* (2017) e Campano *et al.* (2019) demonstram que o conforto térmico dos estudantes pode estar relacionado com a situação socioeconômica em casa (baixa renda ou inexistência de sistemas de aquecimento ou resfriamento). Segundo Campano *et al.* (2019), as condições em casa fazem com que as crianças criem o hábito de adaptarem-se a condições térmicas adversas e acabam refletindo estes hábitos na sala de aula. Os estudos indicam a existência de correlação entre o conforto térmico e o contexto socioeconômico em salas de aula com crianças e adolescentes de 9 a 17 anos (Campano *et al.*, 2019; Montazami *et al.*, 2017; Trebilcock *et al.*, 2017), no entanto, nenhum deles investigou esse aspecto em salas de aula universitárias.

O conforto térmico em salas de aula de universidades brasileiras também foi estudado. Há estudos que foram desenvolvidos em universidades localizadas em Maceió (Cândido *et al.*, 2010), São Luís (Buonocore *et al.*, 2020) e Goiânia (Abreu-Harbach; Chaves; Brandstetter, 2018). Estes estudos foram desenvolvidos em cidades com classificação climática de Köppen-Geiger Aw (Maceió e Goiânia) e Am (São Luís). Essas cidades são caracterizadas por serem do tipo tropical úmido com altas temperaturas. No entanto, nenhum desses estudos investigou a influência do contexto socioeconômico no conforto térmico de estudantes universitários brasileiros. Assim, a influência do contexto socioeconômico no conforto térmico ainda não está bem explicada. Além disso, esse aspecto não foi avaliado em salas de aula universitárias. Os estudos de conforto térmico em salas de aula universitárias brasileiras concentraram-se em cidades com clima de altas temperaturas (Abreu-Harbach; Chaves; Brandstetter, 2018; Buonocore *et al.*, 2020; Cândido *et al.*, 2010). Nesse sentido, o estudo desenvolvido nesta tese aborda a influência do contexto socioeconômico no conforto térmico de estudantes universitários em salas de aula localizadas em clima subtropical úmido.

1.1 Justificativa

Os estudos de conforto térmico podem ser a chave para redução do consumo de energia em edificações (Barbadilla-Martín *et al.*, 2018; Bienvenido-Huertas *et al.*, 2020; Martell *et al.*, 2019; Ming *et al.*, 2020; Papadopoulos *et al.*, 2019; Park *et al.*, 2020; Prajongsan; Sharples, 2012). Reduzir o consumo de energia em edificações é crucial para atendimento de metas, como do Acordo de Paris, e consequentemente garantir recursos para as gerações futuras (IEA, 2023a). A pesquisa proposta nesta tese de doutorado tem os seguintes aspectos de inovação:

- É possível encontrar na literatura científica uma série de estudos de conforto térmico em salas de aula que não conseguiram prever o conforto térmico dos ocupantes com precisão: utilizando o modelo de conforto adaptativo (Dear *et al.*, 2015; Zaki *et al.*, 2017) ou o modelo PMV/PPD (*Predicted Mean Vote/Predicted Percentage of Dissatisfied*) (Abreu-Harbach; Chaves; Brandstetter, 2018). Os modelos de conforto térmico da *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* foram baseados em dados de escritórios e câmara climática (ASHRAE 55, 2020). Além disso, há regiões do Brasil que ainda não constam na base de dados da ASHRAE (Niza; Broday, 2022). Assim, mais estudos no Brasil são necessários devido à diversidade climática do país. É necessário que os modelos de conforto sejam adequados às diferentes tipologias de edificações, garantindo subsídios adequados para os projetos dos ambientes focados na manutenção do conforto térmico e otimização do consumo de energia;
- É possível que as diferenças entre a previsão da sensação térmica a partir dos modelos de conforto e a sensação térmica real dos usuários possa ser explicada por questões culturais (Singh *et al.*, 2018), pela expectativa térmica dos usuários (Shooshtarian; Rajagopalan, 2017), por fatores contextuais (Al Horr *et al.*, 2016), pelo gênero (Al-Khatiri; Alwetaishi; Gadi, 2020) ou pelas características socioeconômicas dos usuários (Montazami *et al.*, 2017);
- O histórico térmico recente parece ter influência na percepção térmica dos usuários (Buonocore *et al.*, 2019; Jiang *et al.*, 2020; Luo *et al.*, 2018; Ming *et al.*, 2020; Rupp *et al.*, 2018) enquanto o histórico térmico de longo prazo não (Jowkar; Dear; Brusey, 2020; Zhang *et al.*, 2016);

- O contexto socioeconômico também pode influenciar os comportamentos térmicos. Há diversas referências sobre este assunto em edificações residenciais, o que parece ser óbvio, pois o usuário é o responsável pelo custo da energia. Entretanto, não foi encontrada uma quantidade significativa de estudos que abordam o contexto socioeconômico em pesquisas de conforto térmico (Antoniadou; Papadopoulos, 2017; Smith; Henríquez, 2019). A hipótese inicial deste trabalho é de que o contexto socioeconômico influencia os comportamentos adaptativos e a percepção térmica dos estudantes nas salas de aula. Os testes desta pesquisa serão propostos para verificar se as diferenças entre o conforto térmico de grupos com contextos socioeconômicos diferentes são estatisticamente significativas (Havenith *et al.*, 2020; Montazami *et al.*, 2017).
- A idade é outro parâmetro que tem influência no conforto térmico dos usuários. Apesar da idade ser frequentemente incluída nos estudos de conforto térmico (Van Hoof *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2019; Yun *et al.*, 2014), é comum abordar os efeitos da idade em relação a aspectos fisiológicos. No entanto, é possível que as sensações de conforto em relação à idade estejam também relacionadas às possibilidades e regras de comportamento em cada faixa etária (Korsavi; Montazami, 2020; Singh *et al.*, 2019).
- O gênero é amplamente estudado em pesquisas de conforto térmico. Alguns estudos sugerem que mulheres estão em conforto em temperaturas mais altas (Maykot; Rupp; Ghisi, 2018a) ou que os homens são mais resistentes a ambientes mais frios (Hu *et al.*, 2022), outros autores apontam o contrário (Al-Khatri; Alwetaishi; Gadi, 2020). Neste aspecto, diversos autores relatam as diferenças entre as formas como homens e mulheres se vestem e que impactam o isolamento por vestimenta (Aryal *et al.*, 2022; Jowkar *et al.*, 2020b; Mishra *et al.*, 2017; Nico; Liuzzi; Stefanizzi, 2015; Thapa, 2019, 2021). Também é relatado na literatura sobre as diferenças da composição corporal e fisiológica entre homens e mulheres. Hu *et al.* (2022) mediram as temperaturas da pele usando um termopar portátil, frequência cardíaca e saturação de oxigênio com objetivo de analisar a capacidade de adaptação térmica fisiológica de homens e mulheres e compará-las. Apesar de encontrarem diferenças nos votos de sensação térmica de homens e mulheres, Hu *et al.* (2022) não encontraram diferenças significativas nas condições fisiológicas. Portanto, não há consenso sobre como

o gênero influencia o conforto térmico dos indivíduos e se sua influência é estatisticamente significativa;

- O desempenho cognitivo dos indivíduos é uma variável dependente das condições de conforto dos usuários e foi amplamente estudado (Hassanain; Iftikhar, 2015; Haverinen-Shaughnessy *et al.*, 2015; Hu *et al.*, 2022; Jiang *et al.*, 2018; Mendell; Heath, 2005). O desempenho dos estudantes é fundamental para o desenvolvimento do país, o que explica que os países desenvolvidos são aqueles que mais investem em pesquisa e inovação. De acordo com Schneegans, Lewis e Straza (2023), houve aumento de 12% nos investimentos em pesquisa no mundo em 2022, em relação ao ano anterior, sendo que 53% desses investimentos aconteceram nos Estados Unidos e na China. No entanto, a realidade das universidades brasileiras é outra, especialmente quanto à infraestrutura adequada às atividades acadêmicas de ensino e pesquisa (Marques; Pereira; Alves, 2010). Os estudos de conforto térmico em salas de aula podem auxiliar na definição de critérios sobre os usos das salas (Luo *et al.*, 2022) e melhorar as condições que favoreçam o desempenho dos estudantes (Jiang *et al.*, 2021). A longo prazo, os estudos de conforto podem tornar possível identificar como os investimentos em infraestrutura das universidades podem ser aplicados com objetivo de aumentar o conforto ambiental. Assim, pode-se aumentar a produtividade de estudantes e pesquisadores, e possibilitar o uso de medidas que otimizem o consumo de energia, especialmente para condicionamento dos ambientes;
- A relação entre todas estas variáveis e o conforto térmico ainda carece de explicações. A maioria dos estudos avalia grupos de variáveis e sua influência na percepção térmica dos usuários. A pesquisa desenvolvida por Jowkar *et al.* (2020a) avaliou o conforto térmico em oito edifícios universitários do Reino Unido. Os autores consideraram o histórico térmico dos participantes da pesquisa, no entanto, não há menção sobre o contexto social e de como ele afeta a percepção térmica dos usuários.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar o conforto térmico de estudantes em salas de aula de universidades localizadas em Joinville/SC e São José/SC que operam em condições de ventilação natural e condicionamento artificial.

1.2.2 Objetivos específicos

Os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Comparar os votos de sensação térmica de estudantes universitários com os modelos de conforto térmico existentes (PMV/PPD e adaptativo);
- Desenvolver modelos de conforto térmico analíticos com base nos votos reais de sensação e de preferência térmica de estudantes universitários;
- Desenvolver modelos de conforto térmico adaptativos baseados na temperatura de neutralidade térmica e na temperatura de conforto térmico de estudantes universitários;
- Identificar as relações entre os votos de sensação térmica de estudantes universitários submetidos a condições ambientais e pessoais similares quando agrupados de acordo com seu contexto socioeconômico;
- Comparar os votos de sensação térmica dos estudantes de contextos socioeconômicos distintos a partir de quatro aspectos: faixa de renda, situação de trabalho, curso de graduação e etnia.

1.3 Estrutura do trabalho

Esta tese está estruturada em cinco capítulos. No primeiro capítulo, foi realizada uma contextualização do problema destacando-se os aspectos de inovação e a justificativa do estudo proposto. Os objetivos a serem alcançados com o desenvolvimento desta pesquisa foram definidos.

No segundo capítulo realizou-se uma revisão de literatura que tem por objetivo identificar o estado da arte do conforto térmico em salas de aula de universidades. Na revisão

de literatura foram apresentados e discutidos os principais modelos de conforto térmico (analítico e adaptativo) para salas de aula universitárias. A revisão de literatura também serviu para identificar os principais parâmetros de conforto térmico utilizados nas publicações atuais (temperatura de neutralidade térmica e temperatura de conforto). Percebeu-se que existem poucos estudos que investigaram a influência do contexto socioeconômico no conforto térmico (objetivo geral desta tese). Esse último aspecto é inexistente na literatura científica para a realidade climática brasileira.

No terceiro capítulo o método é descrito, indicando a sequência das etapas que foram desenvolvidas para obtenção das variáveis estudadas (ambientais e pessoais), cálculos para obtenção de índices de conforto, análise estatística para identificação de potenciais diferenças significativas entre os grupos e geração dos modelos de conforto térmico.

No quarto capítulo apresentam-se os resultados obtidos com a pesquisa e discutem-se os resultados comparando-os com outros estudos.

Por fim, no quinto capítulo apresentam-se as conclusões obtidas a partir do estudo com indicações de possibilidades para trabalhos futuros e limitações desta pesquisa.

2. Revisão de literatura

Neste capítulo são apresentados e discutidos os principais estudos de campo de conforto térmico desenvolvidos em salas de aula universitárias. A revisão apresenta os modelos analítico e adaptativo de conforto térmico para salas de aula universitárias, as temperaturas de conforto térmico obtidas em estudos de campo, a influência que as variáveis pessoais têm no conforto térmico de estudantes universitários e os resultados de estudos de conforto térmico desenvolvidos em salas de aula no Brasil.

2.1 Modelos clássicos de conforto térmico

De acordo com Fanger (1970), geralmente se consideram seis fatores que determinam as condições de conforto térmico, sendo quatro fatores ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa do ar e movimento do ar) e dois fatores pessoais (isolamento de vestimenta e a taxa metabólica). Fanger (1970) descreveu as condições necessárias para o conforto térmico e os princípios para análise. O estudo de Fanger (1970) é um dos trabalhos mais significativos e foi realizado em ambientes totalmente controlados para testar o nível do conforto térmico humano. Com base nas equações de balanço de calor e nos estudos de campo, Fanger (1970) desenvolveu uma equação para o voto médio previsto de sensação térmica (PMV). A Equação 1 mostra a relação entre o PMV e as variáveis ambientais e pessoais.

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

Onde:

PMV é o voto médio previsto de sensação térmica;

M é a taxa metabólica (W/m^2);

W é o trabalho mecânico, sendo nulo para a maioria das atividades (W/m^2);

f_{cl} é a razão entre a área superficial do corpo vestido, pela área do corpo nú;

I_{cl} é a resistência térmica das roupas ($m^2/^\circ C/W$);

t_{cl} é a temperatura superficial das roupas ($^\circ C$);

t_a é a temperatura do ar ($^\circ C$);

t_r é a temperatura radiante média (°C);

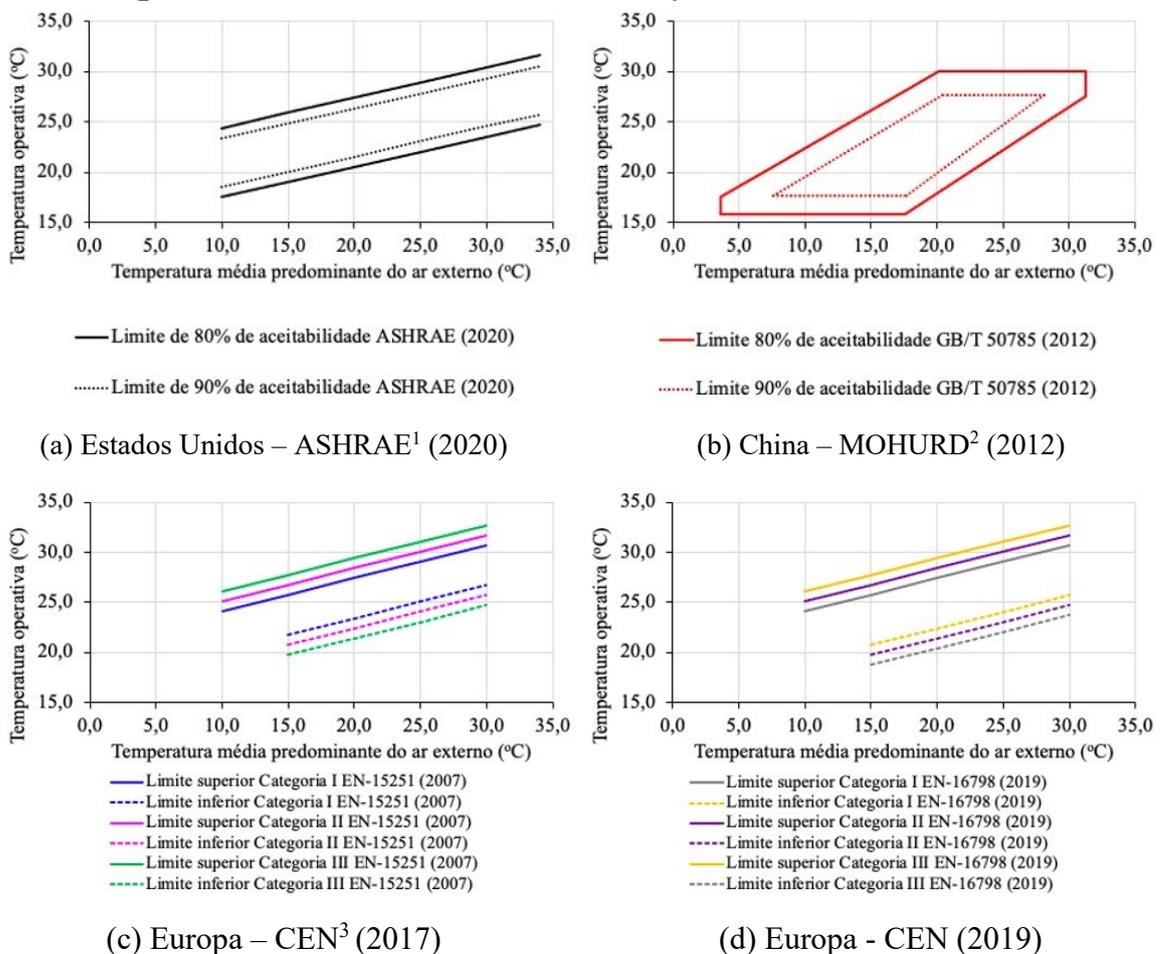
v_{ar} é a velocidade do ar (m/s);

p_a é a pressão parcial do vapor de água (Pa);

h_c é o coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m²/°C).

Ao contrário do modelo analítico, Humphreys (1978) e Dear e Brager (1998) desenvolveram os primeiros estudos com abordagem adaptativa. Diferentemente do modelo proposto por Fanger (1970) com ambientes controlados, Humphreys (1978) e Dear e Brager (1998) desenvolveram estudos com pessoas em seu dia-dia e perceberam que as pessoas realizavam ações para reestabelecer o conforto térmico. A Figura 1 apresenta os principais modelos de conforto térmico adaptativo adotados em normas internacionais.

Figura 1 - Modelos de conforto térmico adaptativo de diferentes normas.



¹ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning

² Ministry of Housing and Urban-Rural Development.

³ Comité Européen de Normalisation.

Na abordagem adaptativa, as pessoas não são consideradas estáticas e suas ações (troca de roupas, ingestão de bebidas, abertura de janelas etc.) são consideradas na previsão do conforto térmico. A teoria do conforto térmico adaptativo baseia-se na condição de que quando as pessoas se sentem desconfortáveis, elas reagem ao desconforto com comportamento adaptativo (Nicol; Humphreys, 2002). Tanto o modelo analítico quanto o modelo adaptativo foram adotados em normas internacionais de conforto térmico como a ASHRAE 55 (2020), EN-15251 (CEN, 2017), EN-16798 (CEN, 2019) e GB/T 50785 (MOHURD, 2012).

2.2 Modelos de conforto térmico para salas de aula

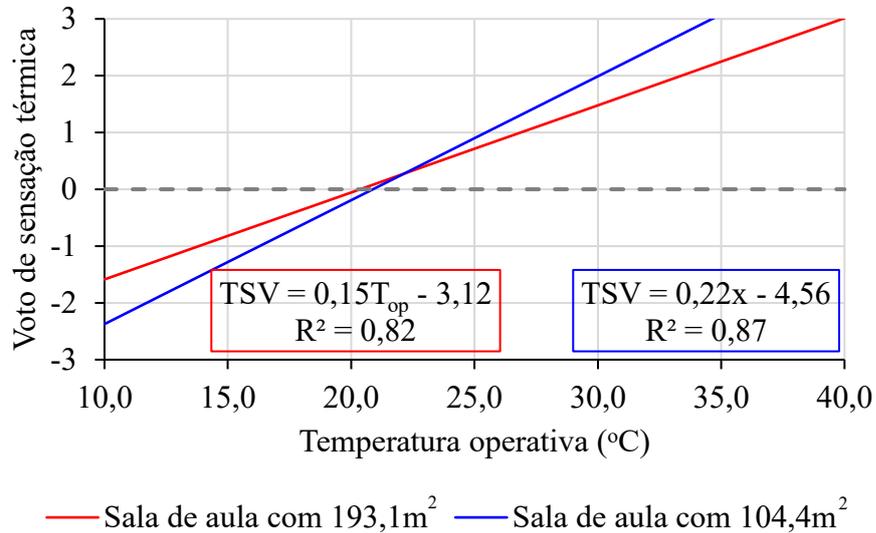
Mais recentemente, outros modelos de conforto térmico foram desenvolvidos a partir de diversas abordagens que são discutidas ao longo desta seção.

2.2.1 Sensação térmica

Wang *et al.* (2023) realizaram um estudo de conforto térmico em 16 salas de aula na Universidade Tianjin Chengjian, em Tianjin, na China. As salas de aula eram de dois tipos e se diferenciavam pelo tamanho: nove salas de aula possuíam 193,1 m² e as outras sete salas de aula possuíam 104,4 m². A pesquisa foi desenvolvida durante o inverno e as salas de aula possuíam aquecimento central. A relação entre o voto de sensação térmica (TSV) e a temperatura operativa para as salas de aula estudadas por Wang *et al.* (2023) é mostrada na Figura 2. Durante o estudo de Wang *et al.* (2023), a temperatura externa variou entre -2,4°C e 15,7°C. As salas de aula com área de 193,1m² tinham maiores áreas de janelas causando maiores perdas de calor do ambiente interno e fazendo com que a temperatura interna fosse mais baixa. É possível perceber que a inclinação da reta, ou seja, a sensibilidade térmica dos estudantes em relação à temperatura operativa era menor nas salas de aula com maior área. As temperaturas de neutralidade para os estudantes das duas salas de aula foram: 20,4°C para as salas de aula com 193,1 m² e 20,9°C para as salas de aula com 104,4 m². Isso ocorreu pois nas salas onde a temperatura interna era mais próxima da temperatura externa os estudantes eram menos sensíveis às variações da temperatura operativa indicando sua capacidade de adaptação. Wang *et al.* (2023) relataram que a diferença entre as temperaturas de neutralidade térmica pode ser explicada pelo fato de que as salas de aula com 104,4 m² eram mais frias e os estudantes executavam mais ações de adaptação pessoal do que nas salas de aula com 193,1 m².

O estudo demonstrou que as possibilidades de adaptação dos estudantes são decisivas na temperatura de neutralidade térmica de cada ambiente.

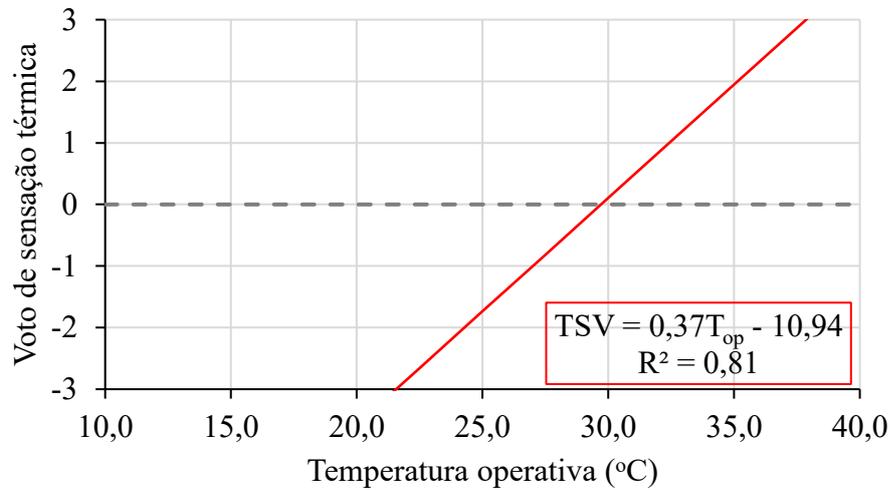
Figura 2 - Voto de sensação térmica versus temperatura operativa nas salas de aula da Universidade Tianjin Chengjian, Tianjin, na China.



Fonte: Adaptado de Wang *et al.* (2023).

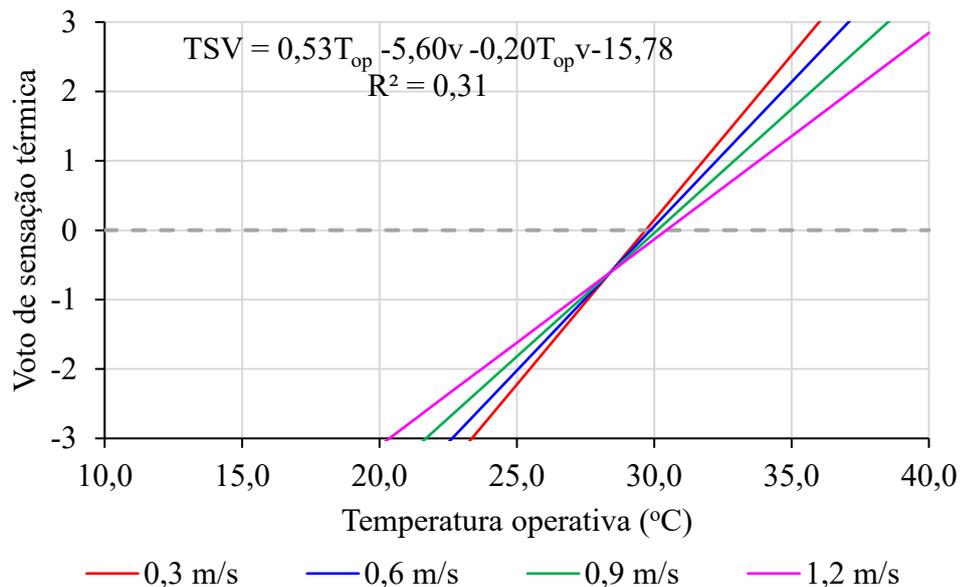
Bhandari, Tadeballi e Gopalakrishnan (2023) realizaram um estudo de conforto térmico em onze salas de aula do Instituto Nacional de Tecnologia, localizado em Tamil Nadu, Índia. Os levantamentos foram realizados nos meses entre janeiro e abril, a temperatura externa variou entre 18,5°C e 40,1°C e a umidade relativa do ar média de 63,6% e 72,4%. As salas de aula possuíam ventiladores de teto. A Figura 3 apresenta o modelo de conforto térmico para as salas de aula estudadas por Bhandari, Tadeballi e Gopalakrishnan (2023). Ao considerar diferentes valores de velocidade do ar, Bhandari, Tadeballi e Gopalakrishnan (2023) desenvolveram um novo modelo de conforto térmico para as salas de aula do Instituto Nacional de Tecnologia da Índia. A Figura 4 mostra o modelo de regressão múltipla para a sensação térmica em função da temperatura operativa e da velocidade do ar. Na Figura 4 é possível perceber que o aumento da velocidade do ar faz com que a inclinação da reta diminua, aumentando a temperatura de neutralidade térmica. Os estudantes votaram sob a sensação de leve calor (TSV=1,0) para temperaturas de até 31,8°C, 32,3°C, 32,9°C e 33,8°C com velocidades do ar de 0,3, 0,6, 0,9 e 1,2 m/s, respectivamente.

Figura 3 - Voto de sensação térmica versus temperatura operativa nas salas de aula do Instituto Nacional de Tecnologia, na Índia.



Fonte: Adaptado de Bhandari, Tadepalli e Gopalakrishnan (2023).

Figura 4 - Voto de sensação térmica versus temperatura operativa para diferentes velocidades do ar nas salas de aula do Instituto Nacional de Tecnologia, na Índia.

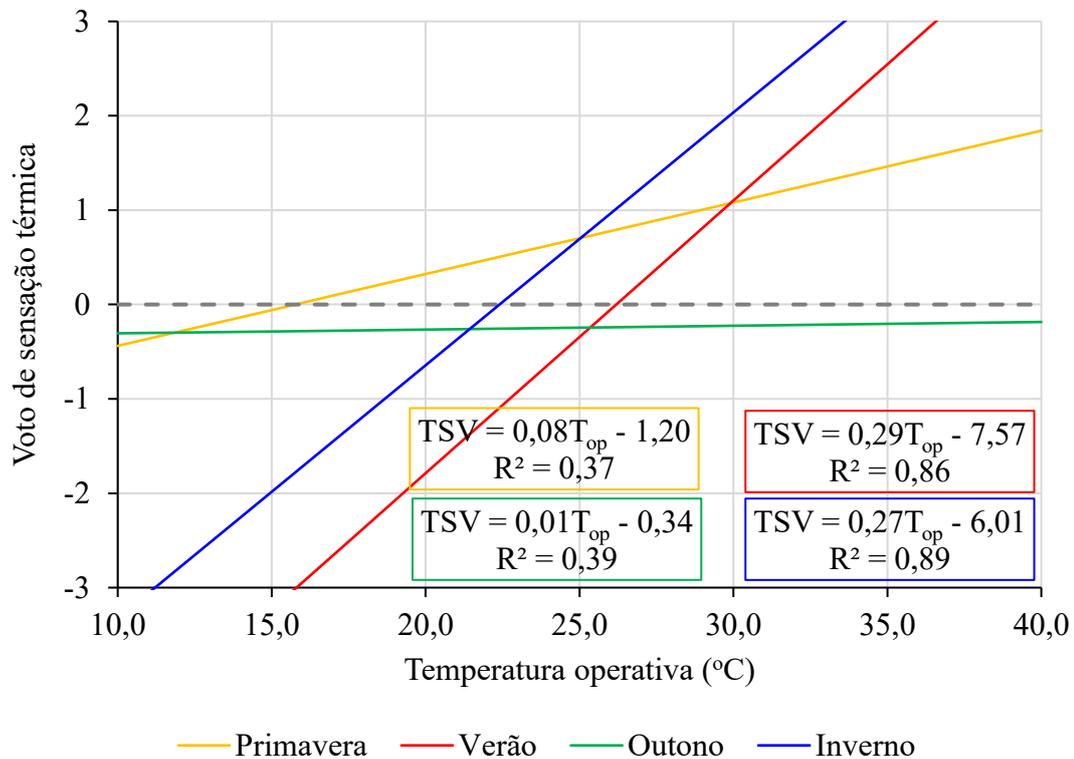


Fonte: Adaptado de Bhandari, Tadepalli e Gopalakrishnan (2023).

Wang *et al.* (2021) realizaram um estudo de conforto térmico nas salas de aula dos edifícios educacionais da Universidade de Arquitetura e Tecnologia de Xi'an, na China. Todos os edifícios operavam com ventilação natural durante a primavera, verão e outono. No inverno, o aquecimento central era fornecido por radiadores de 15 de novembro a 15 de março. No verão, apenas janelas operáveis e ventiladores de teto poderiam ser usados para combater o calor. A temperatura externa durante o estudo de campo variou de 7,8°C (inverno) a 36,7°C (verão). A

umidade relativa do ar externo durante o estudo de campo variou de 22,6% a 98,2%. Durante o inverno, a temperatura média do ar externo era de 12,0°C e a umidade relativa do ar média era 52,6%. No verão a temperatura média do ar externo era de 29,2°C e a umidade relativa do ar média era 65,1%. Apesar das condições externas diferentes, na Figura 5 nota-se que os modelos de regressão linear para o inverno e para o verão possuem retas com inclinações muito parecidas. As inclinações das retas de regressão linear no verão e no inverno foram maiores do que na primavera e no outono, indicando que a sensibilidade térmica dos estudantes é maior no inverno e no verão. Wang *et al.* (2021) também encontraram diferenças significativas entre o PMV e TSV, exceto no inverno, quando o aquecimento central estava disponível.

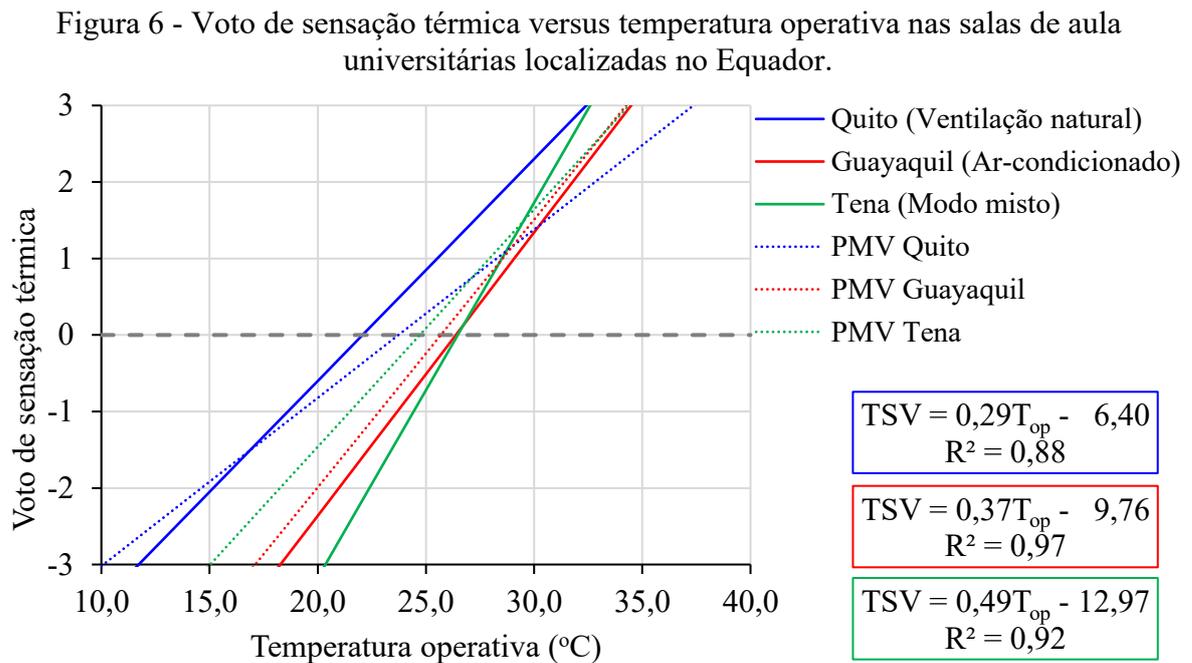
Figura 5 - Voto de sensação térmica versus temperatura operativa para cada estação do ano nas salas de aula da Universidade de Arquitetura e Tecnologia de Xi'an, na China.



Fonte: Adaptado de Wang *et al.* (2021).

Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) realizaram um estudo de conforto térmico em salas de aula universitárias de três cidades do Equador: Quito, Guayaquil e Tena. O clima de Quito é classificado com subtropical de terras altas (Cfb) com temperatura média anual de 15,6°C. O clima de Guayaquil é classificado como savana tropical (Aw) com temperatura média anual de 28,0°C. Tena está localizada na região amazônica, clima de floresta tropical (Af) com temperatura média anual de 23,0°C. O estudo investigou 20 salas de aula que operavam com

ar-condicionado e ventilação natural. A Figura 6 mostra os modelos de regressão linear entre a sensação térmica e a temperatura operativa das salas de aula em cada cidade e também a relação do PMV com a temperatura operativa. Na Figura 6 observa-se que o PMV subestimou a sensação térmica dos estudantes de Quito (linha tracejada abaixo da linha contínua na Figura 6).



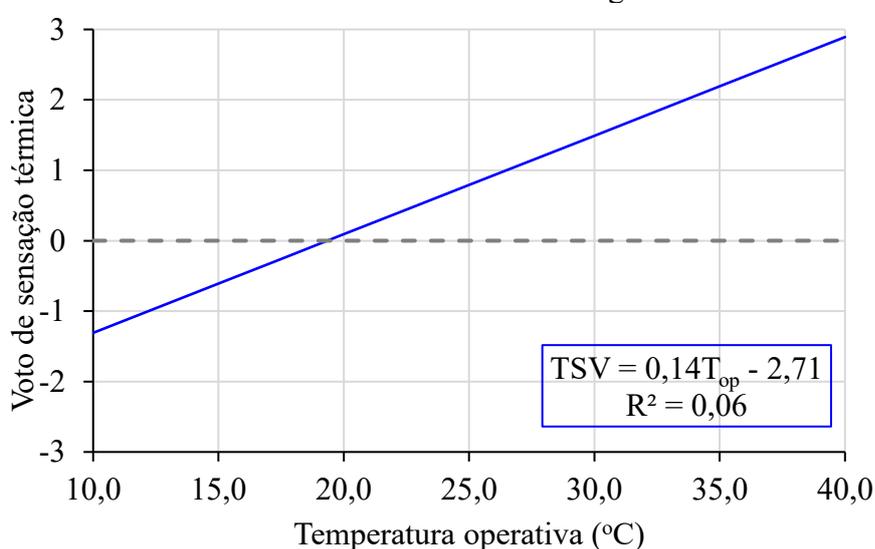
Fonte: Adaptado de Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021).

Nas cidades de Guayaquil e Tena, o PMV superestimou a sensação térmica dos estudantes (linha tracejada acima das linhas contínuas na Figura 6). Além disso, na cidade de Guayaquil a distância entre o PMV e a sensação térmica dos estudantes foi menor do que na cidade de Tena, o que pode ser explicado pelo fato de que as salas de aula na cidade de Guayaquil operavam com ar-condicionado. Na cidade de Tena (modo misto) os estudantes tinham mais possibilidades de adaptação do ambiente (abertura de janelas e ventiladores) o que fez com que o modelo PMV ficasse mais distante do modelo de sensação térmica relatada pelos estudantes. Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) também relataram que os estudantes de Quito realizavam mais ajustes comportamentais para manter a sensação neutra, como aumentar o isolamento de roupas e operar as janelas. Isso fez com que o modelo de sensação térmica dos estudantes de Quito apresentasse diferenças significativas em relação ao PMV.

Talukdar *et al.* (2020) desenvolveram um estudo de conforto térmico em salas de aula operando com ventilação natural localizadas na Universidade Agrícola de Bangladesh. A

cidade possui clima tropical úmido (Aw). A umidade relativa do ar varia entre 75,0% e 86,5% e a temperatura entre 18,5°C e 29,4°C. A Figura 7 mostra a regressão da sensação térmica dos estudantes para a temperatura operativa. O modelo apresentado por Talukdar *et al.* (2020) teve coeficiente de determinação baixo que pode ser explicado pela capacidade de adaptação dos estudantes. Diversos estudantes, por exemplo, relataram neutralidade térmica (TSV=0) mesmo quando as temperaturas operativas estavam acima de 30,0°C. Além disso, as salas de aula eram equipadas com ventiladores de teto, aumentando a velocidade do ar e reduzindo o desconforto por calor em temperaturas mais altas.

Figura 7 - Voto de sensação térmica versus temperatura operativa nas salas de aula universitárias localizadas em Bangladesh.



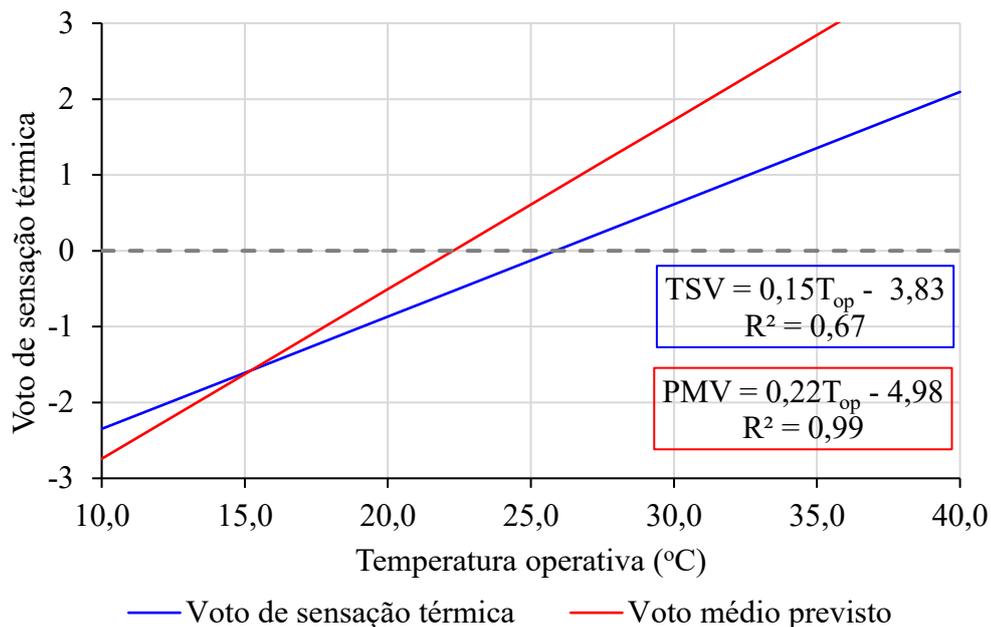
Fonte: Adaptado de Talukdar *et al.* (2020).

Talukdar *et al.* (2020) relataram que a velocidade do ar nas salas de aula, durante os estudos de campo, variou entre 0,60m/s e 0,75m/s. Esse resultado é similar ao encontrado por Bhandari, Tadepalli e Gopalakrishnan (2023) no qual os estudantes relatavam leve desconforto por calor (TSV=1) para temperaturas acima de 30,0°C quando as velocidades do ar eram superiores a 0,3 m/s e inferiores a 1,2m/s. Talukdar *et al.* (2020), no entanto, não incluíram a velocidade do ar no modelo de conforto térmico, o que pode ter causado o coeficiente de determinação mais baixo para a regressão da sensação térmica pela temperatura operativa.

No estudo desenvolvido por Jing *et al.* (2019) foi realizado um levantamento de campo de conforto térmico em salas de aula da Universidade de Tecnologia de Taiyuan, na China. Durante os estudos de campo, a temperatura externa variou entre -5,9°C e 6,8°C e as salas de aula eram equipadas com radiadores para aquecimento. As salas de aula tinham a umidade

relativa do ar interno variando entre 22,4% e 31,5% e a temperatura do ar interno variando entre 21,8°C e 25,6°C. A Figura 8 apresenta o modelo de regressão linear entre a sensação térmica dos estudantes e a temperatura operativa comparado com o modelo PMV. Na Figura 8 é possível perceber que o PMV superestimou a sensação térmica dos estudantes assim como ocorreu no estudo de Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) nas salas de aula que operavam com ar-condicionado. Jing *et al.* (2019) afirmam que, no seu estudo, os valores do isolamento de vestimenta dos estudantes era maior do que em outros estudos de campo desenvolvidos em salas de aula da China. Os autores atribuem isso ao código de vestimenta que era imposto em outras instituições de ensino fazendo com que os estudantes não tivessem opções de adaptações individuais. A questão da vestimenta também foi confirmada no estudo de Talukdar *et al.* (2020), mesmo com salas de aula a 30°C, diversos estudantes relatavam conforto térmico pois podiam utilizar roupas mais leves.

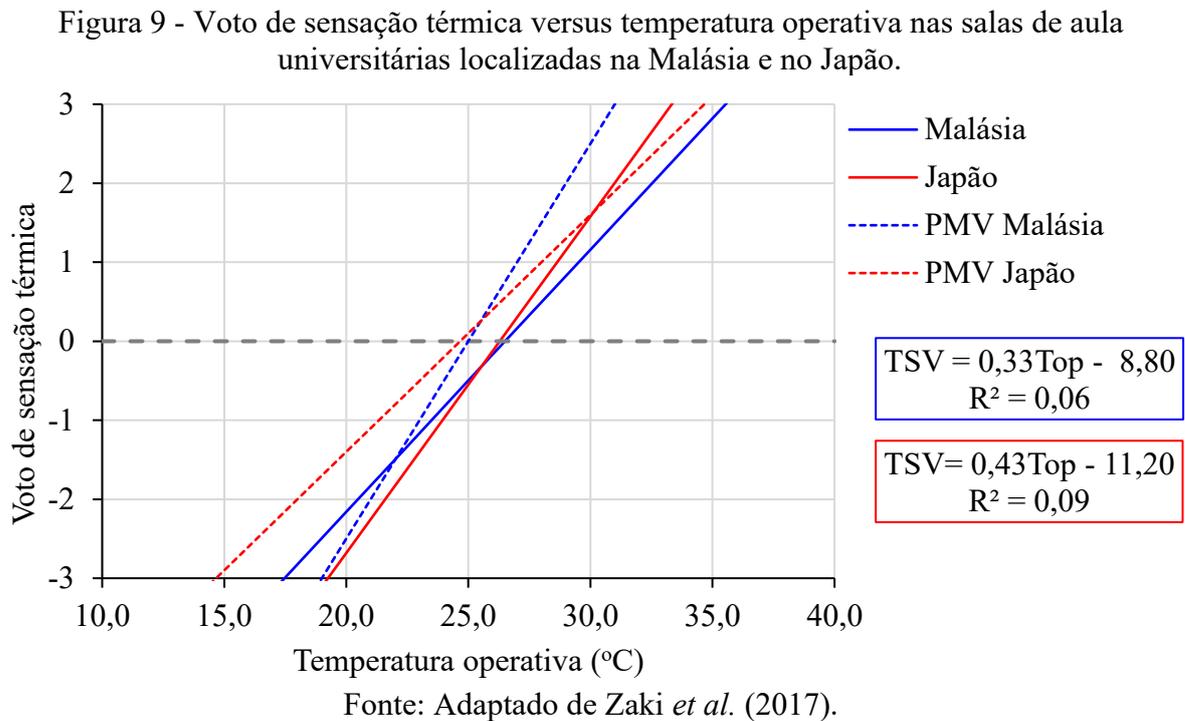
Figura 8 - Voto de sensação térmica versus temperatura operativa nas salas de aula universitárias localizadas em Taiuã, na China.



Fonte: Adaptado de Jing *et al.* (2019).

Três universidades participaram do estudo de Zaki *et al.* (2017), duas na Malásia e uma no Japão. Ao todo, Zaki *et al.* (2017) desenvolveram um estudo de conforto térmico em 22 salas de aula que operavam com ar-condicionado e ventilação natural. O clima na região estudada na Malásia é típico de floresta tropical (quente e úmido durante todo o ano). No Japão, o clima é subtropical úmido, com invernos amenos e verões quentes e úmidos. Zaki *et al.* (2017)

coletaram 872 votos na Malásia e 284 votos no Japão obtendo as equações de regressão de sensação térmica mostradas na Figura 9. As equações de regressão obtidas por Zaki *et al.* (2017) para ambos os países foram consideradas significativas ($p < 0,001$) apenas quando as salas operavam com ar-condicionado.



O Quadro 1 apresenta uma síntese de resultados obtidos em estudos de campo de conforto térmico em salas de aula universitárias. Ao observar as relações entre o voto médio de sensação térmica (TSV) e a temperatura operativa das salas de aula (T_{op}), é possível perceber que os maiores coeficientes de determinação geralmente aparecem nos modelos desenvolvidos em salas de aula climatizadas (aquecimento ou resfriamento). Nessas situações, a sensação térmica dos estudantes era fortemente dependente da temperatura operativa interna das salas de aula (Guevara; Soriano; Mino-Rodriguez, 2021; Jowkar *et al.*, 2020b; Wang *et al.*, 2023, 2021). Entretanto, isso não é uma regra pois outros estudos que foram desenvolvidos em ambientes controlados apresentaram fraca relação entre o TSV e a temperatura operativa (Lau; Zhang; Tao, 2019; Torriani *et al.*, 2023; Zaki *et al.*, 2017). A forma como a temperatura operativa influencia o voto médio de sensação térmica dos estudantes está ligada principalmente à capacidade adaptativa de cada indivíduo. Wang *et al.* (2023), por exemplo, concluíram que em um tipo de sala de aula estudada os estudantes eram mais livres para adaptação de roupas do

que em outras e isso fez com que o modelo de regressão entre o TSV e a temperatura operativa tivesse correlação mais fraca.

Quadro 1 – Regressões entre o voto de sensação térmica e a temperatura operativa para salas de aula universitárias.

País	Modo de operação	Temp. externa (°C)	Clima	Equação	R ²	p-valor	Fonte
China	AQ	-2,4 a 15,7	BSk	$TSV = 0,153 T_{op} - 3,120$	0,82	<0,001	Wang <i>et al.</i> (2023)
China	AQ	-2,4 a 15,7	BSk	$TSV = 0,218 T_{op} - 4,555$	0,74	<0,001	Wang <i>et al.</i> (2023)
China	AQ	-7,8 a 15,4	Cfa	$TSV = 0,268 T_{op} - 6,005$	0,89	<0,001	Wang <i>et al.</i> (2023)
China	AQ	-5,9 a 6,8	Dwa	$TSV = 0,148 T_{op} - 3,829$	0,67	<0,05	Jing <i>et al.</i> (2019)
Escócia	AQ	2,0 a 13,0	Cfb	$TSV = 0,310 T_{op} - 4,870$	0,91	<0,001	Jowkar <i>et al.</i> (2020b)
Holanda	AQ	3,5 a 8,0	Cfb	$TSV = 0,305 T_{op} - 6,415$	0,11	<0,001	Mishra <i>et al.</i> (2017)
Reino Unido	AQ	1,0 a 15,0	Cfb	$TSV = 0,350 T_{op} - 5,690$	0,92	<0,001	Jowkar <i>et al.</i> (2020b)
Bangladesh	VN	27,9 a 35,8	Aw	$TSV = 0,140 T_{op} - 2,708$	0,06	<0,001	Talikdar <i>et al.</i> (2020)
China	VN	12,0 a 25,3	Cfa	$TSV = 0,076 T_{op} - 1,198$	0,37	<0,001	Wang <i>et al.</i> (2021)
China	VN	19,7 a 36,7	Cfa	$TSV = 0,289 T_{op} - 7,569$	0,86	<0,001	Wang <i>et al.</i> (2021)
China	VN	11,5 a 29,8	Cfa	$TSV = 0,004 T_{op} - 0,345$	0,39	<0,001	Wang <i>et al.</i> (2021)
Equador	VN	9,0 a 19,0	Cfb	$TSV = 0,290 T_{op} - 6,400$	0,88	*	Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021)
Itália	VN	5,0 a 18,7	Csa	$TSV = 0,180 T_{op} - 4,12$	0,64	<0,05	Lamberti <i>et al.</i> (2023)
França	VN	5,1 a 10,3	Csa	$TSV = 0,201 T_{op} - 4,115$	0,68	<0,05	Lamberti <i>et al.</i> (2023)
Espanha	VN	0,0 a 36,5	Csa	$TSV = 0,256 T_{op} - 5,880$	0,83	*	De La Hoz-Torres <i>et al.</i> , (2024)
Singapura	VN	24,4 a 30,2	Af	$TSV = 0,180 T_{op} - 4,920$	0,05	<0,001	Lau, Zhang e Tao (2019)
Índia	VN + VT	18,5 a 40,1	Aw	$TSV = 0,368 T_{op} - 10,936$	0,81	*	Bhandari, Tadepalli e Gopalakrishnan (2023)
Equador	RE	21,0 a 31,0	Aw	$TSV = 0,370 T_{op} - 9,760$	0,97	*	Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021)
Japão	RE	24,3 a 25,9	Cfa	$TSV = 0,426 T_{op} - 11,200$	0,09	<0,001	Zaki <i>et al.</i> (2017)
Malásia	RE	23,3 a 25,1	Af	$TSV = 0,332 T_{op} - 8,800$	0,06	<0,001	Zaki <i>et al.</i> (2017)
Singapura	RE	24,4 a 30,2	Af	$TSV = 0,390 T_{op} - 10,440$	0,16	<0,001	Lau, Zhang e Tao (2019)
Reino Unido	MM	1,0 a 15,0	Cfb	$TSV = 0,350 T_{op} - 6,140$	0,92	<0,001	Jowkar <i>et al.</i> (2020b)
Equador	MM	18,0 a 36,0	Af	$TSV = 0,490 T_{op} - 12,970$	0,92	*	Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021)
Escócia	MM	2,0 a 13,0	Cfb	$TSV = 0,250 T_{op} - 3,860$	0,91	<0,001	Jowkar <i>et al.</i> (2020b)
Singapura	MM	24,4 a 30,2	Af	$TSV = 0,200 T_{op} - 5,920$	0,10	<0,001	Lau, Zhang e Tao (2019)

AQ: Aquecimento
 VN: Ventilação natural
 VT: Ventiladores de teto
 RE: Resfriamento
 MM: Modo misto

BSk: Clima semiárido frio
 Aw: Clima de savana
 Cfa: Clima subtropical úmido
 Cfb: Clima oceânico temperado
 Af: Clima equatorial

Csa: Clima mediterrânico de verão quente
 * p-valor não informado.

No Quadro 1 também é possível perceber que nas salas de aula que operavam com ventilação natural, o coeficiente angular da reta de regressão entre o TSV e a temperatura operativa tende a ser menor do que nos ambientes climatizados. Isso ocorre pois em ambientes que operam com ventilação natural, outros fatores interferem na sensação térmica dos estudantes como a velocidade do ar (Bhandari; Tadepalli; Gopalakrishnan, 2023) e a concentração de dióxido de carbono (Run; Cévaër; Dubé, 2023). Ao analisar climas similares

com temperaturas externas parecidas e em salas de aula com o mesmo modo de operação, é possível verificar semelhanças entre os modelos de regressão de sensação térmica (TSV) e temperatura operativa. Comparando, por exemplo, os estudos desenvolvidos em salas de aula com aquecimento na China, na Escócia, na Holanda e na Inglaterra, é possível perceber que os coeficientes angulares das retas são muito parecidos, todos eles possuem clima do grupo C de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (Jowkar *et al.*, 2020b; Mishra *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2021).

2.2.2 Temperatura de conforto

Na subseção 2.1 foram apresentados diversos estudos que relacionaram o voto de sensação térmica de estudantes universitários com a temperatura operativa por meio de regressões lineares. O método de regressão linear pode ser uma alternativa para determinar a temperatura de neutralidade térmica (TSV=0). No entanto, em algumas situações, o método de regressão linear é incapaz de determinar a temperatura de neutralidade térmica. Wang *et al.* (2021), por exemplo, avaliaram o conforto térmico em salas de aula chinesas ventiladas naturalmente em todas as estações do ano. Os autores não conseguiram determinar a temperatura de neutralidade térmica para a primavera e o outono, pois todos os estudantes votaram neutro (TSV=0) ou ligeiramente quente (TSV=1). Matematicamente, as retas de regressão obtidas por Wang *et al.* (2021) interceptariam a reta que denota a neutralidade térmica (TSV=0), no entanto, os valores dessas interseções são absurdos para a situação de conforto térmico. No caso da primavera, por exemplo, a temperatura de neutralidade térmica seria 86,3°C. Da mesma forma, o método de regressão não é recomendado quando os indivíduos se adaptam ao ambiente (Humphreys; Rijal; Nicol, 2013; Indraganti *et al.*, 2014; Rijal; Yoshida; Umemiya, 2010). Para superar estas questões, o método de Griffiths tem sido utilizado por diversos pesquisadores (Bhandari; Tadepalli; Gopalakrishnan, 2023; Guevara; Soriano; Mino-Rodriguez, 2021; Kumar *et al.*, 2020; Lamberti *et al.*, 2023; Talukdar *et al.*, 2020; Zaki *et al.*, 2017). No método de Griffiths, a temperatura de conforto é calculada por meio da Equação 2 (Humphreys; Rijal; Nicol, 2013).

$$T_c = T_{op} + \frac{0 - TSV}{G} \quad (2)$$

Onde:

T_c é a temperatura de conforto (°C);

T_{op} é a temperatura operativa ($^{\circ}\text{C}$);

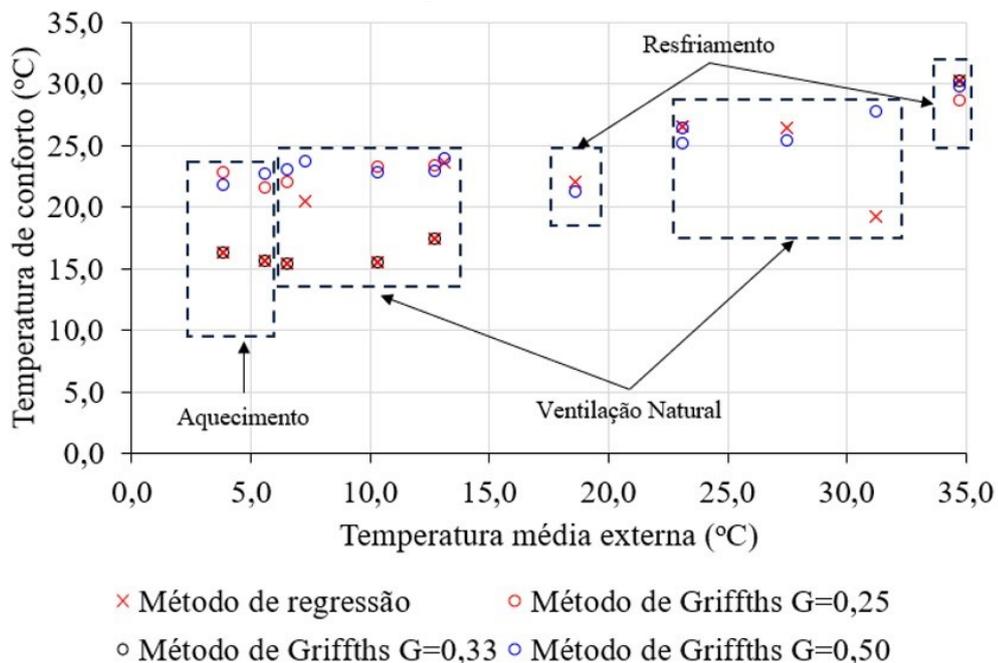
TSV é o voto de sensação térmica ($^{\circ}\text{C}$);

G é a constante de Griffiths ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).

A constante de Griffiths representa a sensibilidade térmica dos ocupantes do edifício às variações da temperatura interna. A maioria dos estudos utiliza o valor de $0,5^{\circ}\text{C}^{-1}$ (Bhandari; Tadepalli; Gopalakrishnan, 2023; Guevara; Soriano; Mino-Rodriguez, 2021; Kumar *et al.*, 2020; Lamberti *et al.*, 2023; Talukdar *et al.*, 2020; Zaki *et al.*, 2017). No entanto, de acordo com Rupp *et al.* (2022), a constante de Griffiths foi derivada exclusivamente de dados de edifícios de escritórios e a sua aplicabilidade em diferentes tipologias de edificações ainda não foi totalmente validada. Rupp *et al.* (2022) destacam, por exemplo, que valores mais baixos para a constante de Griffiths tendem a exagerar os registros dos votos de sensação térmica mais extremos (muito frio ou muito calor). Outros estudos também relataram o comportamento variável da constante de Griffiths, e por este motivo, o valor a ser adotado dependerá dos resultados obtidos no estudo de campo (Humphreys; Rijal; Nicol, 2013; Rupp *et al.*, 2019). A Figura 10 mostra a comparação entre as temperaturas de conforto (obtidas por meio do método de Griffiths) e as temperaturas de neutralidade térmica (obtidas por meio de regressão linear entre o TSV e a temperatura operativa) para pesquisas de campo em salas de aula universitárias. Ao revisar a literatura, percebeu-se que a maioria dos estudos utilizou o valor de sensibilidade térmica de $0,50^{\circ}\text{C}^{-1}$ (Guevara; Soriano; Mino-Rodriguez, 2021; Lamberti *et al.*, 2023). No entanto, Jowkar *et al.* (2020b) realizaram o cálculo das temperaturas de conforto utilizando valores usuais para a sensibilidade térmica ($0,25^{\circ}\text{C}^{-1}$; $0,33^{\circ}\text{C}^{-1}$ e $0,50^{\circ}\text{C}^{-1}$). Na Figura 10 é possível perceber que para as salas que operavam com aquecimento (temperaturas externas inferiores a 10°C) o uso da constante de Griffiths de $0,33^{\circ}\text{C}^{-1}$ fez com que a temperatura de conforto fosse muito próxima à temperatura de neutralidade térmica obtida por meio do método da regressão linear. O mesmo ocorreu para alguns estudos desenvolvidos em salas de aula ventiladas naturalmente com temperaturas externas menores do que $15,0^{\circ}\text{C}$. Por outro lado, quando a temperatura externa era maior e as salas de aula operavam com ar-condicionado, os valores da constante de Griffiths de $0,50^{\circ}\text{C}^{-1}$ resultaram em temperaturas de conforto e temperaturas de neutralidade térmica similares. Quando as temperaturas externas eram mais altas e as salas de aula funcionavam com ventilação natural, as temperaturas de neutralidade térmica, obtidas por meio de regressão linear, foram maiores do que as temperaturas de conforto obtidas por meio do método de Griffiths para a sensibilidade térmica de $0,50^{\circ}\text{C}^{-1}$. A maior diferença entre a temperatura de neutralidade térmica e a temperatura de conforto foi verificada

na sala de aula ventilada naturalmente. Nestas situações, os estudantes tendem a realizar mais ações adaptativas (como retirada de peças de roupas), o que não é bem representado pelo modelo de regressão linear. O ajuste adaptativo dos estudantes tende a modificar a forma como o estudante se relaciona com o ambiente térmico (sensibilidade térmica) e isso se reflete em diferenças entre o seu voto de sensação térmica e a temperatura operativa da sala de aula. Nos estudos de campo que foram desenvolvidos em locais com temperatura externa menores (Lamberti *et al.*, 2023) houve uma tendência de o método de regressão linear subestimar a temperatura de neutralidade térmica. A temperatura de neutralidade térmica média nos países com temperaturas externas inferiores a 15,0°C era de 16,8°C, enquanto a temperatura média de conforto estimada por meio do método de Griffiths era de 22,8°C. As temperaturas de neutralidade térmica mais baixas obtidas por meio do método de regressão podem ser explicadas pelo fato dos estudantes, nas situações de temperaturas externas menores do que 15,0°C, utilizarem mais roupas (isolamento de vestimenta médio de 0,96). No entanto, essas temperaturas podem não refletir a realidade de sensação térmica dos estudantes por não considerarem suas ações adaptativas.

Figura 10 - Comparação entre as temperaturas de conforto por meio do método de Griffiths e regressão linear.

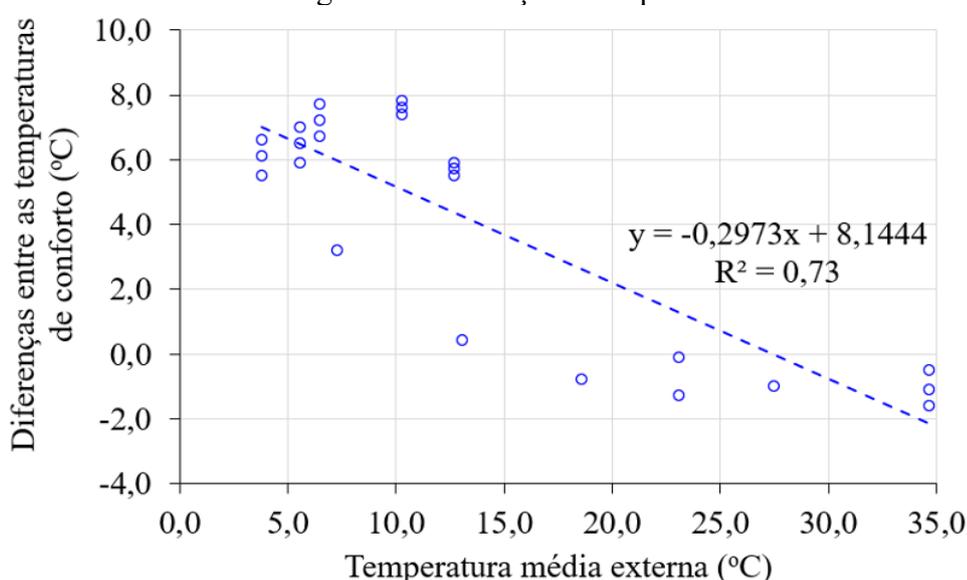


Fonte: Adaptado de Aguilar *et al.* (2022), Cao *et al.* (2011), Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021), Jowkar *et al.* (2020b), Lamberti *et al.* (2023) e Singh *et al.* (2018).

A Figura 11 apresenta as diferenças entre as temperaturas de conforto (Griffiths) e de neutralidade térmica (regressão) em relação à temperatura média externa. Na Figura 11 é

possível observar que há uma forte relação entre a temperatura média externa e similaridade entre os resultados obtidos para temperaturas de conforto por meio de cada um dos métodos. Com aumento da temperatura média externa houve diminuição da diferença entre as temperaturas de conforto e de neutralidade térmica. Isso ocorre pois em temperaturas mais altas, a maior parte dos estudos ocorreu em salas de aula climatizadas, fazendo com que o voto de sensação térmica dos estudantes fosse fortemente influenciado pela temperatura operativa interna das salas de aula, reduzindo as ações adaptativas (Cao *et al.*, 2011; Yao; Liu; Li, 2010).

Figura 11 – Diferenças entre as temperaturas de conforto obtidas por meio método de Griffiths e de regressão em relação à temperatura externa.



Fonte: Adaptado de Cao *et al.* (2011), Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021), Jowkar *et al.* (2020b), Lamberti *et al.* (2023), Singh *et al.* (2018) e Talukdar *et al.* (2020).

2.2.3 Modelos adaptativos

Depois que os primeiros estudos sobre conforto térmico adaptativo foram publicados, diversos outros pesquisadores desenvolveram modelos de conforto térmico adaptativo para outros tipos de ambientes. O Quadro 2 apresenta modelos de conforto de térmico adaptativo para salas de aula de universidades. É possível observar que os modelos de conforto térmico adaptativo de salas de aula ventiladas naturalmente têm a inclinação da reta similar às inclinações encontradas nos modelos previstos em normas internacionais: 0,31 (ASHRAE, 2020) e 0,33 (EN, 2017). Percebe-se também que a maioria dos estudos utiliza a temperatura de conforto de Griffiths para o desenvolvimento dos modelos de conforto térmico adaptativo.

Romero *et al.* (2024) desenvolveram um estudo de campo no Campus Universitário de Badajoz (Espanha) e no Instituto Politécnico de Beja (Portugal). Os autores afirmam que a

maioria das salas de aula da Europa não utilizam sistemas de condicionamento de ar, fazendo com que a maioria das salas de aula funcionem com ventilação natural. Nessa situação, a temperatura não é regulada e leva a maiores oscilações de temperatura ao longo do dia, fazendo com que os estudantes aumentem sua capacidade adaptativa. Ao comparar os resultados do estudo de campo, Romero *et al.* (2024) constataram que a temperatura externa em Portugal era, em média, 6°C superior à temperatura externa da Espanha. Essas condições do ambiente externo fizeram com que mais estudantes de Portugal relatassem desconforto por calor durante o estudo de campo desenvolvido por Romero *et al.* (2024).

Quadro 2 – Modelos de conforto térmico adaptativo para salas de aula universitárias.

País	Modo de operação	Temp. externa (°C)	Clima	Equação	R ²	p-valor	Fonte
Bangladesh	VN	27,9 a 35,8	Aw	$T_{conf} = 0,38T_{MPA} + 16,10$	0,06	<0,001	Talukdar <i>et al.</i> (2020)
Espanha	VN	12,3 a 34,7	Csa	$T_{conf} = 0,24T_{MPA} + 19,55$	0,39	*	Romero <i>et al.</i> (2024)
Portugal	VN	17,7 a 38,4	Csa	$T_{conf} = 0,41T_{MPA} + 15,64$	0,68	*	Romero <i>et al.</i> (2024)
Espanha	VN	0,0 a 36,5	Csa	$T_{conf} = 0,38T_{MPA} + 16,25$	*	*	De la Hoz-Torres <i>et al.</i> (2024)
Itália/França	VN	5,0 a 18,7	Csa/Cfb	$T_N = 0,25T_{MPA} + 19,63$	*	*	Lamberti <i>et al.</i> (2023)
Índia	VN	26,0 a 38,0	BSh	$T_{conf} = 0,49T_{MPA} + 13,80$	0,43	<0,001	Singh <i>et al.</i> (2018)
México	NV	17,6 a 29,3	Aw	$T_{conf} = 0,32T_{MPA} + 18,45$	0,01	<0,001	López-Pérez, Flores-Preto e Rios-Rojas (2019)
Índia	VN ¹	14,3 a 25,1	Cwa	$T_{conf} = 0,75T_{MPA} + 7,33$	0,74	<0,001	Kumar e Singh (2021)
China	VN ¹	8,8 a 38,1	Cfa	$T_{conf} = 0,60T_{MPA} + 9,85$	0,97	*	Yao, Liu e Li (2010)
México	AC	17,6 a 29,3	Aw	$T_{conf} = 0,13T_{MPA} + 22,70$	0,04	<0,001	López-Pérez, Flores-Preto e Rios-Rojas (2019)
China	VN + AQ	-3,0 a 24,0	Cfa	$T_N = 0,29T_{MPA} + 19,93$	0,77	*	Zhao <i>et al.</i> (2024)

¹ As salas possuíam ventiladores de teto.

* Não informado no artigo.

T_{conf} é a temperatura de conforto obtida por meio do método de Griffiths.

T_N é a temperatura de neutralidade térmica obtida por meio de regressão linear entre o TSV e a temperatura operativa.

López-Pérez, Flores-Preto e Rios-Rojas (2019) também desenvolveram um modelo de conforto térmico adaptativo para salas de aula que funcionavam com ar-condicionado. Nessa situação, o coeficiente de inclinação da reta foi menor do que os valores comumente encontrados na literatura (próximo a 0,30). Isso ocorre porque no caso de ambientes condicionados artificialmente os usuários têm o seu conforto térmico menos dependente da temperatura externa. Nos estudos desenvolvidos por Yao, Liu e Li (2010) e por Kumar e Singh (2021) as salas de aula possuíam ventiladores de teto que eram associados à ventilação natural para garantir o conforto térmico dos estudantes. No Quadro 2, é possível perceber que os dois modelos de conforto térmico adaptativo (proposto por Yao, Liu e Li (2010) e por Kumar e Singh (2021)) têm inclinações maiores do que os demais estudos, o que indica que, mesmo com

temperaturas externas mais altas, os estudantes ainda podiam estar em situação de conforto térmico.

2.2.4 Conforto térmico em salas de aula no Brasil

No Brasil, Buonocore *et al.* (2020) desenvolveram um estudo de conforto térmico para salas de aula do edifício de arquitetura e urbanismo localizado na Universidade Estadual do Maranhão, na cidade de São Luís. A cidade é classificada, de acordo com Köppen-Geiger, como Am (clima quente e úmido) (Saracoglu; Sanli, 2021). Buonocore *et al.* (2020) aplicaram questionários de conforto térmico e medição de variáveis ambientais em salas de aula naturalmente ventiladas e com ar-condicionado. O estudo foi conduzido de março a novembro, no entanto, a região está situada próximo ao Equador, ou seja, mesmo no inverno, a temperatura mínima foi de 18,0°C. Buonocore *et al.* (2020) concluíram que os estudantes utilizavam roupas leves (vestimenta média de 0,40 a 0,60 clo) e que, por isso, ambientes com temperaturas menores de 22,0°C causavam desconforto por frio excessivo nos estudantes. O isolamento de vestimenta (vestimenta média de 0,40 a 0,60 clo) encontrado por Buonocore *et al.* (2020) é similar aos valores encontrados por Costa, Freire e Kiperstok (2019) em salas de aula da Universidade Federal da Bahia. Ambos os estudos foram desenvolvidos no verão, o que explica os valores de isolamento de vestimenta abaixo de 0,50.

Além disso, Buonocore *et al.* (2020) constataram que as melhores condições térmicas ocorriam entre 23,0°C e 24,0°C. Buonocore *et al.* (2020) relataram que, nas salas de aula operando com condicionamento artificial, as temperaturas poderiam chegar até 26,0°C com 80% dos usuários satisfeitos com o ambiente térmico. Em uma das salas de aula com ventilação natural, avaliadas por Costa, Freire e Kiperstok (2019), 79% dos estudantes estavam satisfeitos com o ambiente térmico na sala que apresentava temperatura média de 26,8°C. As condições de satisfação dos estudantes nas salas de aula de São Luís (Buonocore *et al.* 2020) e de Salvador (Costa; Freire; Kiperstok, 2019) eram similares, no entanto, a velocidade média do ar na sala de aula de Salvador era de 1,27 m/s enquanto na sala de aula de São Luís era de 0,50 m/s.

Noda *et al.* (2020) realizaram um estudo de conforto térmico e visual em salas de aula de três escolas da cidade de João Pessoa, que possui clima caracterizado como Aw (clima quente e úmido), conforme a classificação climática Köppen-Geiger (Saracoglu; Sanli, 2021). O estudo de Noda *et al.* (2020) foi conduzido de agosto a setembro de 2018, foram entrevistadas 97 crianças com idades entre 9 e 11 anos. Os autores concluíram que a temperatura de neutralidade térmica era de 26,8°C. No entanto, a temperatura de neutralidade térmica não

representava a condição preferida dos estudantes. Foi constatado que 48,5% das crianças nas salas com ar-condicionado preferiam a temperatura mais baixa.

Tavares *et al.* (2021) desenvolveram um estudo de caso de conforto térmico em salas de aula do Centro Universitário Tiradentes. O estudo foi conduzido nos meses de verão (fevereiro e março) em salas de aula condicionadas artificialmente. Tavares *et al.* (2021) constataram que os usuários indicavam condição de neutralidade térmica quando a temperatura era de 25,0°C e que 32,6% dos usuários relatavam desconforto por frio quando a temperatura da sala era de 22,0°C.

2.3 Variáveis pessoais e o conforto térmico de estudantes universitários

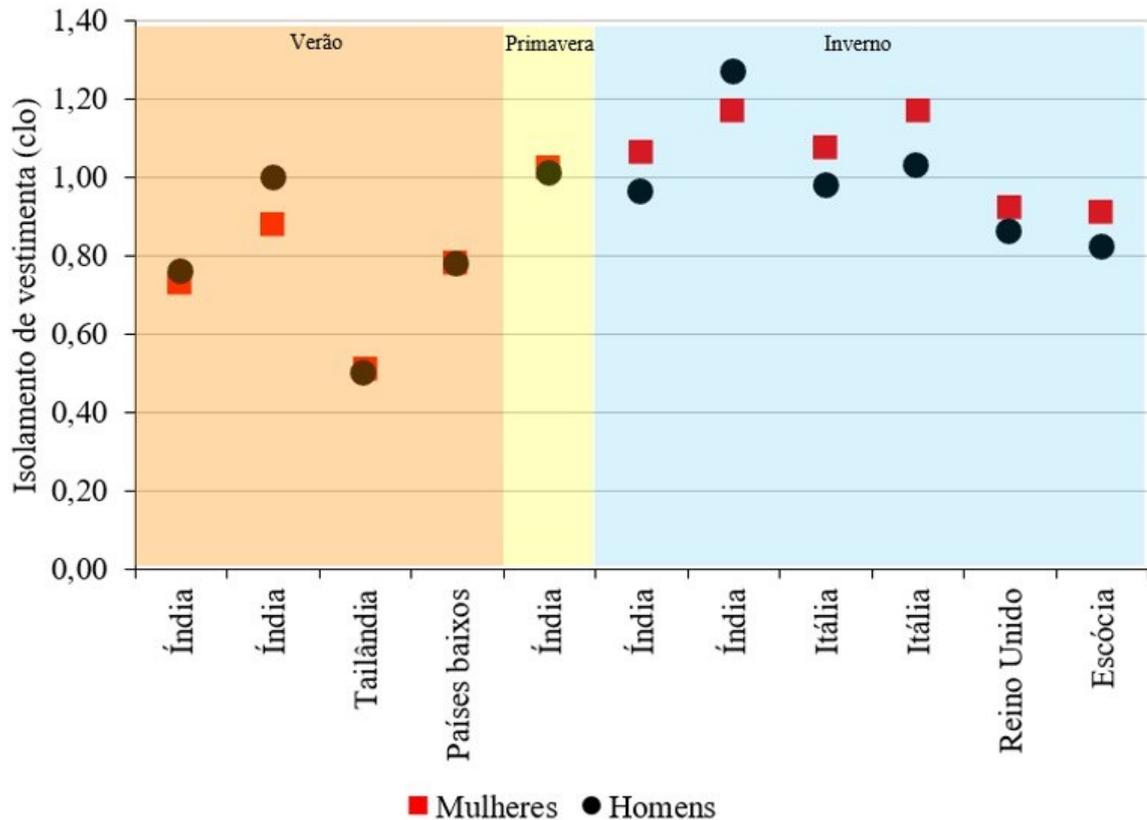
Fanger (1970) considerou duas variáveis pessoais em seu modelo de conforto térmico: a resistência térmica causada pelo isolamento da vestimenta e a taxa metabólica. De acordo com Singh *et al.* (2019), a precisão na estimativa do isolamento de vestimenta e da taxa metabólica desempenha papel crucial na aplicação do modelo PMV-PPD em ambientes escolares. Havenith, Holme År e Parsons (2002) concluíram que um erro de 15,0% na avaliação da taxa metabólica poderia levar a erros de 0,3 no PMV.

2.3.1 Gênero

As diferenças no conforto térmico entre os gêneros podem ser explicadas sob perspectivas comportamentais, fisiológicas e psicológicas (Yang *et al.*, 2021). Sob o aspecto comportamental, diversos estudos confirmam diferenças no vestuário de homens e mulheres. Aghniaey *et al.* (2019) concluíram que, em salas de aula da Universidade da Geórgia, nos Estados Unidos, os valores médios de voto de sensação térmica das mulheres foram menores que os homens, indicando potencial desconforto por frio entre as mulheres. Além disso, o isolamento de vestimenta médio nas mulheres era maior que o dos homens e elas relatavam a preferência de um ambiente térmico mais quente. Por outro lado, no estudo desenvolvido por Thapa (2019), em edifícios universitários da Índia, os indivíduos do sexo feminino apresentaram isolamento de roupas significativamente menor (0,83 clo) do que os indivíduos do sexo masculino (0,87 clo), o que, segundo o autor, demonstra maior tolerância ao estresse térmico em indivíduos do sexo feminino. A Figura 12 apresenta os valores médios de isolamento de vestimenta para homens e mulheres em estudos de conforto térmico

desenvolvidos em salas de aula universitárias. Na maioria dos estudos as mulheres possuíam isolamento de vestimenta maior que os homens no mesmo ambiente.

Figura 12 – Valores de isolamento de vestimenta para os estudos de conforto revisados que foram desenvolvidos em salas de aula de universidades.



Fonte: Adaptado de Thapa (2019), Thapa (2021), Aryal *et al.* (2022), Mishra *et al.* (2017), Nico *et al.*, (2015), Jowkar *et al.* (2020b).

Sob o aspecto fisiológico, diversos estudos relataram diferenças no mecanismo de termorregulação dos indivíduos: próprias de cada gênero (Iyoho; Ng; Macfadden, 2017); nas respostas subcutâneas e respiratórias (Chaudhuri *et al.*, 2018; Kang *et al.*, 2024; Yang *et al.*, 2021) e nas taxas metabólicas (Gao *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2021; Zhai *et al.*, 2018). Além disso, a taxa metabólica também é afetada diretamente pela temperatura ambiente (Yang *et al.*, 2021) o que demonstra que a adoção de taxas metabólicas constantes nos estudos de conforto, como indicado em normas internacionais, pode fazer com que os resultados obtidos em estudos de campo sejam ligeiramente diferentes da realidade, pois os padrões ISO e ASHRAE tendem a superestimar a taxa metabólica (Gao *et al.*, 2023). Do ponto de vista psicológico, as mulheres tendem a relatar de forma mais frequente o desconforto por frio do que os homens (Hu *et al.*,

2022; Jowkar *et al.*, 2020b; Karjalainen, 2007; Lu *et al.*, 2018; Maykot; Rupp; Ghisi, 2018a, 2018b; Thapa, 2019).

2.3.2 Idade

As diferenças no conforto térmico relacionadas à idade dos indivíduos ainda não foram totalmente explicadas. Alguns autores afirmam que as diferenças na sensação térmica entre adultos e crianças estão relacionadas ao metabolismo dos indivíduos que é diferente (Jiang *et al.*, 2020) e a respostas fisiológicas (Wu *et al.*, 2023). No entanto, Gao *et al.* (2023) demonstraram em um estudo de campo que a produção de taxa metabólica permaneceu constante com o aumento da idade em atividades sedentárias, como as atividades que são geralmente desenvolvidas em salas de aula. Bilésimo *et al.* (2022) revisaram 34 estudos de campo de conforto térmico em salas de aula e constataram que, na maioria deles, as crianças e adolescentes preferiam ambientes mais frios. Além disso, em diversos estudos foi relatado que o modelo PMV/PPD superestimou a sensação térmica de calor das crianças (Noda *et al.*, 2020; Porras-Salazar *et al.*, 2018; Rodríguez; Coronado; Medina, 2021; Wargocki *et al.*, 2020).

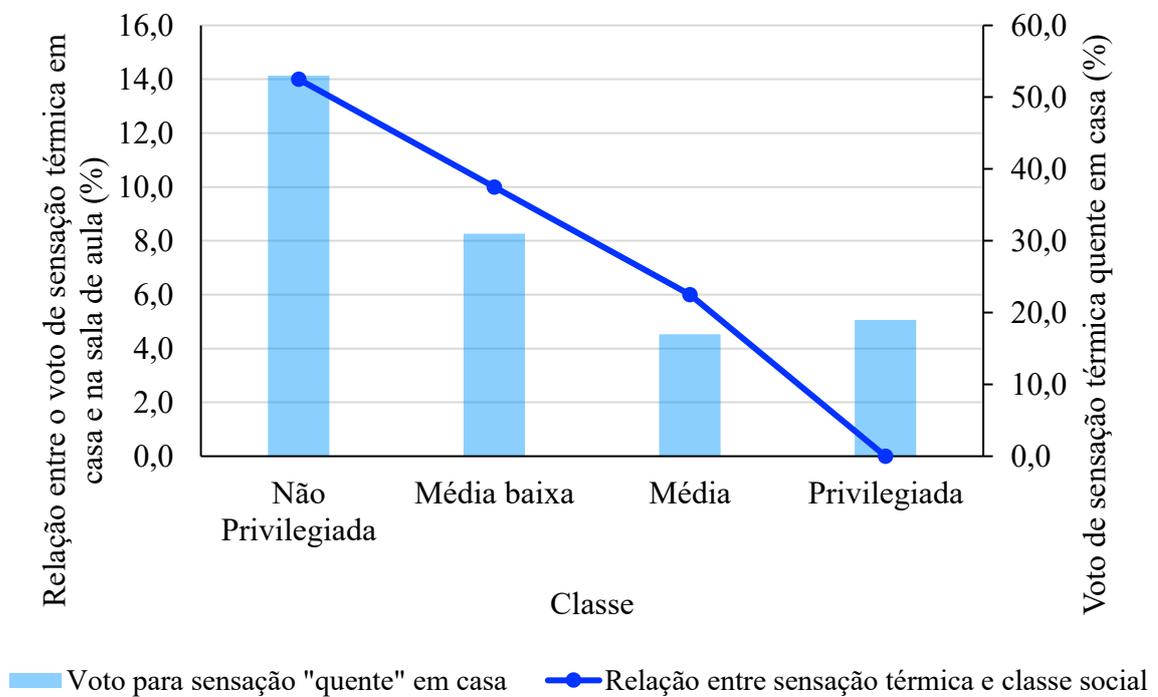
Outro aspecto que explica as diferenças no conforto térmico percebido de acordo com a idade está relacionado às possibilidades de ações adaptativas. Torriani *et al.* (2023) realizaram um estudo de campo de conforto térmico para avaliar as diferenças nas sensações térmicas de estudantes em vários estágios educacionais. Os autores concluíram que as capacidades adaptativas como o isolamento do vestuário e o funcionamento de janelas diminuía em níveis educacionais mais baixos (escolas primárias). Korsavi e Montazami (2018), em estudo de campo desenvolvido em escolas primárias, relatam que a operação de janelas de salas de aula era realizada exclusivamente por professores, indicando que possíveis códigos de conduta em diferentes estágios educacionais podem interferir na forma como os indivíduos realizam suas ações adaptativas.

2.3.3 Contexto socioeconômico e cultural

Draganova *et al.* (2021) realizaram um estudo de conforto térmico nos dormitórios da Universidade de Tecnologia de Toyohashi, no Japão, e concluíram que a nacionalidade afetou significativamente a sensibilidade e a preferência térmica. Draganova *et al.* (2021) concluíram que os estudantes japoneses se sentiam mais confortáveis com uma temperatura de 2°C mais baixa em relação aos estudantes estrangeiros. Talukdar *et al.* (2020) também atribuíram o estado

de conforto térmico na Universidade Agrícola de Bangladesh ao fato de que os estudantes são altamente adaptados aos climas do verão, apesar das temperaturas extremas. A Figura 13 apresenta a relação entre o voto de sensação térmica de crianças em salas de aula de oito escolas do Reino Unido e a classe social. Na Figura 13 é possível perceber que as crianças oriundas de classes sociais menos privilegiadas eram mais sensíveis ao calor (Montazami *et al.*, 2017). Na Figura 13 também é possível perceber que não havia relação entre o voto de sensação térmica dado para a residência das crianças comparado ao voto dado para as salas de aula, no caso das crianças de classes sociais mais altas.

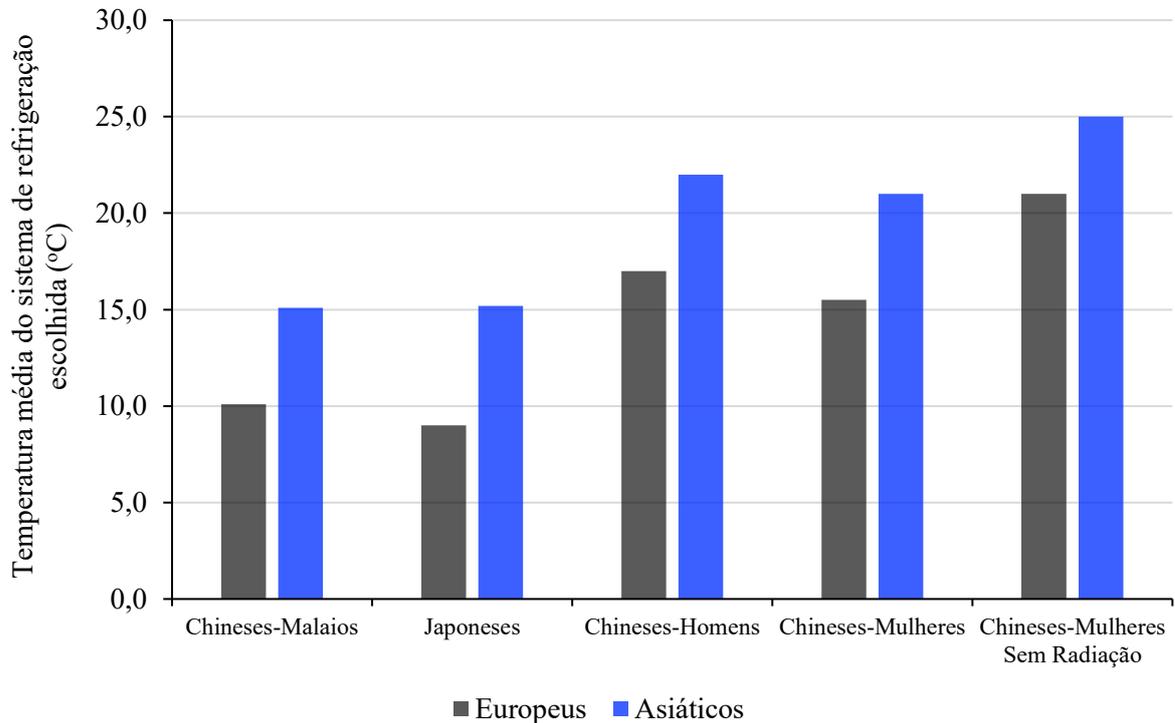
Figura 13 – Relação entre o voto de sensação térmica em casa e na sala de aula categorizado pela classe social de crianças em escolas do Reino Unido.



Fonte: Adaptado de Montazami *et al.* (2017)

A Figura 14 mostra os resultados de um estudo realizado na primavera no Centro de Pesquisa de Ergonomia Ambiental da Universidade de Loughborough (Havenith *et al.*, 2020). Na Figura 14 é possível verificar que na comparação dos cinco experimentos realizados por Havenith *et al.* (2020), houve diferenças significativas (nível de significância de 5%) entre os asiáticos (japoneses, chineses e malaios) e os europeus. De maneira geral, Havenith *et al.* (2020) concluíram que os europeus tinham preferência pelo ambiente mais frio em relação aos asiáticos.

Figura 14 – Comparação das temperaturas médias preferidas pelos indivíduos europeus e asiáticos em um experimento de câmara climática.



Fonte: Adaptado de Havenith *et al.* (2020).

Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) desenvolveram um estudo de conforto térmico em salas de aula de universidades no Equador. Os autores avaliaram três cidades que tinham a seguinte classificação climática de Köppen: Quito (Cfb), Guayaquil (Aw) e Tena (Af). Utilizando o Modelo de Griffiths, Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) determinaram as temperaturas de neutralidade térmica para Quito, Guayaquil e Tena, respectivamente, 21,8°C, 26,3°C e 26,9°C. Observa-se que nas cidades de Guayaquil e Tena, com classificação climática similar, as temperaturas de neutralidade térmica foram parecidas enquanto em Quito, que possui um clima mais próximo do subtropical (com temperaturas ligeiramente mais amenas), a neutralidade térmica era percebida em temperatura quase 5°C menor. A literatura especializada apresenta poucos estudos relacionando o conforto térmico de estudantes com o contexto socioeconômico. O Quadro 3 apresenta o resumo das conclusões dos estudos de campo deste tipo que foram encontrados.

Ao comparar os resultados dos estudos que avaliaram a influência do contexto socioeconômico no conforto térmico (Quadro 3), é possível verificar diferentes resultados. No caso do Chile, a influência do contexto socioeconômico foi encontrada nas salas de aula durante o inverno, mas a influência não foi significativa (ou inexistente) durante os estudos de campo da primavera (Trebilcock *et al.*, 2017). Os resultados encontrados por Trebilcock *et al.* (2017)

podem sugerir que as diferenças entre a sensação térmica dos ocupantes podem ser menores quando a temperatura predominante do ar externo é mais próxima das temperaturas convencionais de conforto térmico (primavera).

Quadro 3 – Influência do contexto socioeconômico no conforto térmico de estudantes.

País	Chile	Chile	Reino Unido	Bangladesh	Reino Unido
Clima	Csb	Csb	Cfb, Cfa	Am	Cfb
Estação	Inverno	Primavera	Inverno	Verão	Outono/Primavera
Amostra	2946	2468	*	*	*
Ambiente	Salas de aula	Salas de aula	Salas de aula	Residências	Câmara climática
Idade	5 a 9 anos	5 a 9 anos	8 a 11 anos	17 a 75 anos	20 a 29 anos
Modo de operação	*	*	Modo misto	Modo misto	Controlado
Influência do contexto socioeconômico no conforto térmico	R ² =0,48 R ² =0,39 R ² =0,38	R ² =0,01 R ² =0,00 R ² =0,07	0% a 14%	p = 0,647	p<0,05
Fonte	Trebilcock <i>et al.</i> (2017)	Trebilcock <i>et al.</i> (2017)	Montazami <i>et al.</i> , (2017)	Uddin <i>et al.</i> , (2023)	Havenith <i>et al.</i> , (2020)

* Não informado no artigo.

No Reino Unido, Montazami *et al.* (2017) concluíram que o contexto social poderia influenciar o conforto térmico de crianças em salas de aula. Havenith *et al.* (2020), em ambiente controlado, descobriu que as diferenças eram significativas. No caso da pesquisa realizada por Montazami *et al.* (2017), a avaliação do contexto socioeconômico das crianças foi realizada comparando sua sensação térmica em casa, no entanto, a pesquisa foi desenvolvida apenas nas salas de aula. As questões relacionadas à residência das crianças foram identificadas unicamente por uma pergunta que as crianças respondiam na sala de aula.

O único estudo deste tipo que foi encontrado para residências sugere que não há diferenças significativas na sensação térmica dos indivíduos de diferentes contextos sociais (Uddin *et al.*, 2023). No entanto, Uddin *et al.* (2023) avaliaram o contexto socioeconômico pelo fato de os moradores serem proprietários ou inquilinos das residências, o que pode não caracterizar completamente a situação socioeconômica dos moradores.

2.4 Síntese da revisão de literatura

A seção de revisão de literatura foi utilizada para compreender os principais conceitos inerentes à pesquisa de conforto térmico, e principalmente, avaliar as recentes descobertas sobre o

conforto térmico em salas de aula. A revisão de literatura foi direcionada aos principais temas associados ao objetivo desta proposta de tese, que podem ser resumidos nos seguintes aspectos:

- Existe potencial de economia de energia associado aos estudos de conforto térmico. Percebeu-se que são recorrentes na literatura as possibilidades de aumento das faixas de temperatura de aceitabilidade térmica sem comprometer o conforto térmico da maioria dos usuários. Aumentar a temperatura de operação das salas implica em reduzir o consumo de energia com condicionamento de ar. O aumento da temperatura com garantia de 80% dos ocupantes satisfeitos resultou em potenciais de redução do consumo de energia de 8,6% (Wu *et al.*, 2019a) e 7,8% (Zhang *et al.*, 2018). Estes resultados confirmam a importância dos estudos de conforto térmico para otimização do consumo de energia. Além disso, outros estudos destacaram que o aumento da velocidade do ar pode ser um fator importante para ampliação da faixa de temperaturas de conforto (Talukdar *et al.*, 2020);
- Há diferenças significativas entre as temperaturas de neutralidade térmica para as diferentes situações (clima, estação do ano e condições de operação das salas de aula). Para a condição de 80% dos usuários satisfeitos com o ambiente térmico de salas de aula, foram relatadas temperaturas de 25,4°C no inverno e 29,6°C no verão, na Universidade de Xi'an, na China (Wang *et al.*, 2021); 27,8°C no verão em Bangladesh (Talukdar *et al.*, 2020); 21,8°C, 26,3°C e 26,9°C, no verão, nas cidades de Quito, Guayaquil e Tena, respectivamente (no Equador) (Guevara; Soriano; Mino-Rodriguez, 2021); 26,0°C na Universidade Estadual do Maranhão, em São Luís (Buonocore *et al.*, 2020); 26,8°C em salas de aula da Universidade Federal da Bahia, em Salvador (Costa; Freire; Kiperstok, 2019). Estas diferenças reforçam a necessidade dos estudos sobre conforto para compor a base de dados e auxiliar no desenvolvimento de modelos de conforto mais adequados a cada situação;
- Apesar das diferenças fisiológicas entre homens e mulheres, foram revisados estudos que não constataram diferenças entre as temperaturas de superfície corporal de homens e mulheres, mas que resultaram em votos de sensação térmica estatisticamente diferentes entre os gêneros (Hu *et al.*, 2022). Foi constatado também que as diferenças das sensações térmicas entre homens e mulheres podem estar relacionadas à forma como cada gênero se veste, no

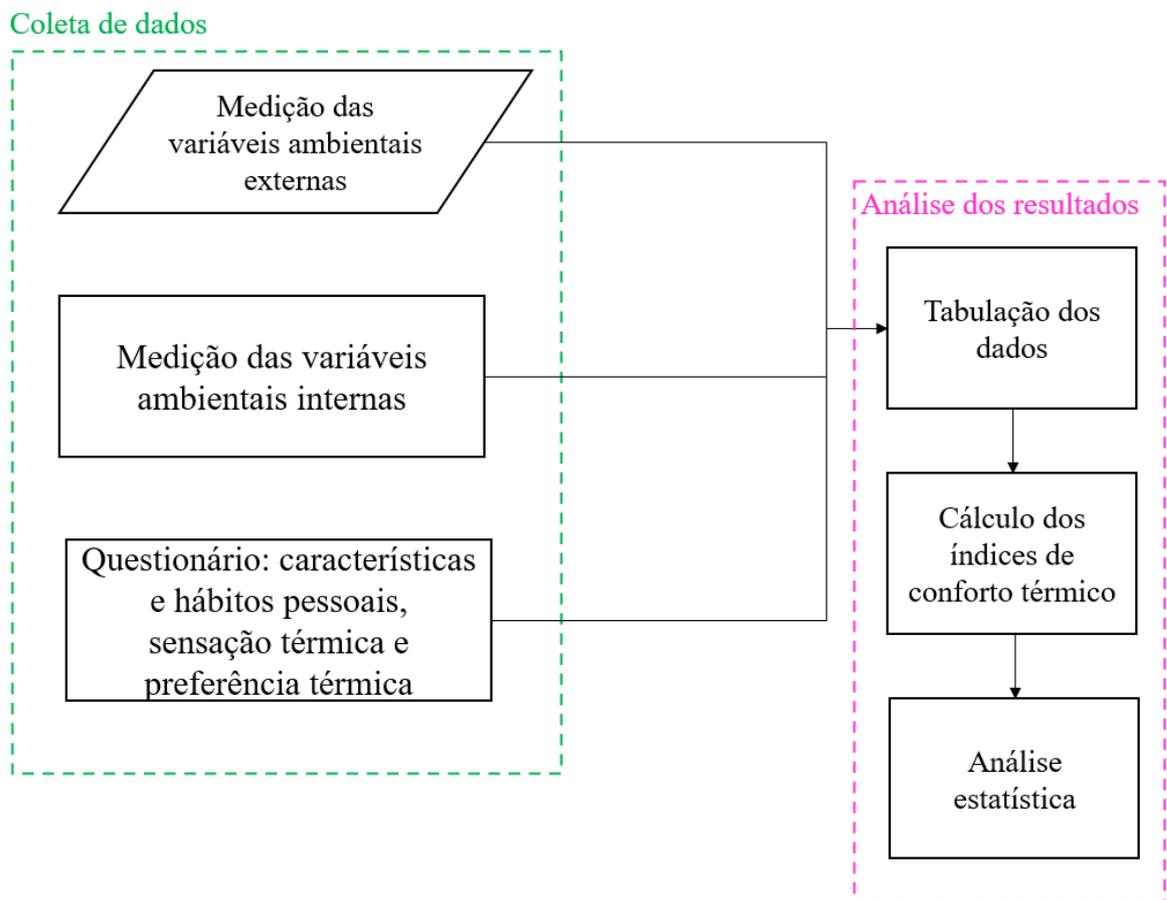
entanto, o fato não é comum a todos os estudos, com diferenças que variaram de 0,01 clo (Aryal *et al.*, 2022; Thapa, 2021) até 0,14 clo (Nico; Liuzzi; Stefanizzi, 2015). Percebeu-se, nos estudos revisados, que as maiores diferenças entre os valores de isolamento de vestimenta para homens e mulheres ocorreram no inverno;

- Destaca-se também, nesta revisão de literatura, os estudos de conforto térmico desenvolvidos em salas de aula de universidades brasileiras, nas cidades de: São Luís com relato de temperaturas de neutralidade térmica de 23,0°C (Buonocore *et al.*, 2020); 24,5°C em Salvador (Costa; Freire; Kiperstok, 2019); 26,8°C em João Pessoa (Noda *et al.*, 2020), 25°C em Maceió (Tavares *et al.*, 2020). As diferenças climáticas existentes no Brasil, que tem dimensões continentais, explicam as diferenças entre as temperaturas de neutralidade térmica;
- A influência do contexto socioeconômico no conforto térmico humano ainda não está totalmente explicada. Diferenças estatisticamente significativas nas sensações térmicas foram relatadas entre estudantes europeus e asiáticos (Havenith *et al.*, 2020). Draganova *et al.* (2021) também relataram que a nacionalidade dos estudantes afetou significativamente a sensibilidade e a preferência térmica de estudantes europeus. Levando em consideração o contexto social, em escolas do Reino Unido também foram relatadas diferenças para a sensibilidade térmica entre crianças oriundas de classes sociais diferentes (Montazami *et al.*, 2017). Por outro lado, Trebilcock *et al.* (2017) constaram que o contexto socioeconômico influenciou a sensação térmica de crianças em sala de aula do Chile durante o inverno, mas o mesmo não ocorreu durante a primavera. Havenith *et al.* (2020) concluíram que o contexto socioeconômico influenciou o conforto térmico de estudantes, porém o estudo foi realizado em câmara climática que pode não representar adequadamente a situação real das pessoas.

3. Método

Este capítulo descreve o método de pesquisa que foi desenvolvido para alcançar os objetivos propostos. O estudo de campo foi desenvolvido em salas de aula de duas universidades localizadas em Santa Catarina, uma localizada na cidade de Joinville e a outra na cidade de São José. As duas cidades possuem clima subtropical úmido. O estudo de campo foi realizado entre os meses de setembro de 2022 e julho de 2023. Os estudantes responderam questionários relacionados ao conforto térmico. Enquanto as respostas dos estudantes eram coletadas, as variáveis ambientais eram medidas. A Figura 15 apresenta as etapas desenvolvidas nesta pesquisa.

Figura 15 – Etapas da pesquisa.



3.1 Edificações selecionadas

Foram selecionadas duas universidades localizadas no sul do Brasil. A Universidade do Estado de Santa Catarina está localizada na cidade de Joinville (latitude 26°18'14''S, longitude

48°50'45''O). O Centro Universitário Estácio de Sá está localizado na cidade de São José (27° 35' 18'' S, 48° 36' 46'' O). As duas cidades estão localizadas no sul do Brasil e possuem clima definido como Cfa de acordo com a classificação climática mundial de Köppen-Geiger (Chen; Chen, 2013; Fritzsos; Mantovani; Wrege, 2016; Saracoglu; Sanli, 2021). A Figura 16 mostra a localização das universidades no Brasil.

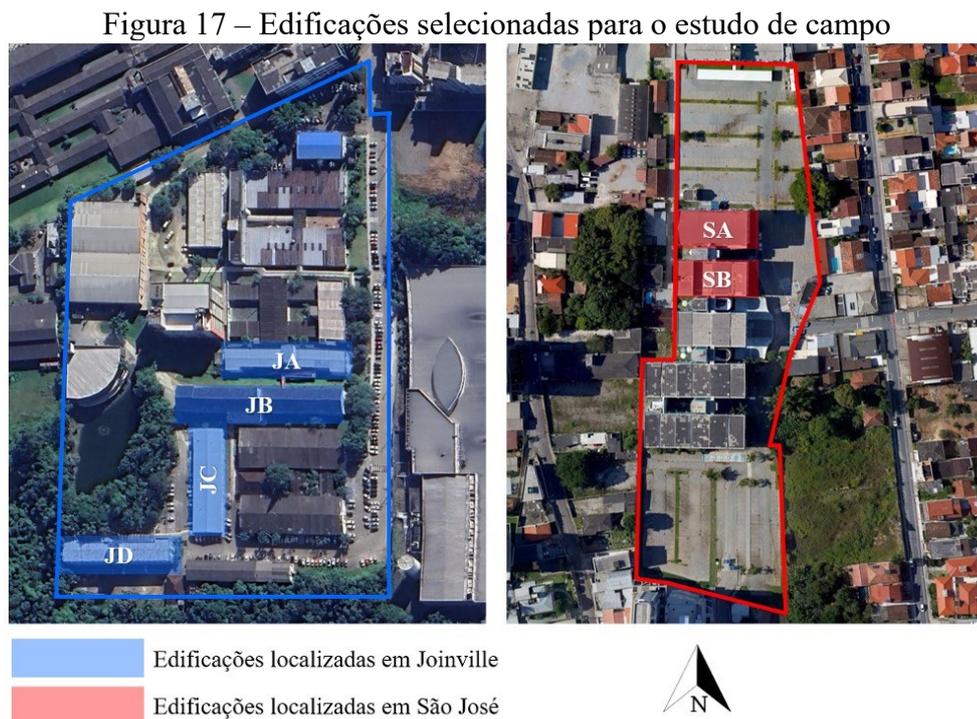
Figura 16 – Localização das edificações estudadas.



Foram obtidos dados climáticos de temperatura do ar externo e umidade relativa do ar externo a partir de duas estações meteorológicas. Para a cidade de Joinville foram utilizados os dados da estação climática do aeroporto de Joinville (26° 13' 23" S 48° 47' 52" O). Os dados da estação climática do aeroporto de Joinville foram obtidos na plataforma Meteostat. Para a cidade de São José foram utilizados dados da estação climática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (27° 36' 15" S 48° 37' 13" O). Os dados da estação climática do Kobrasol (São José) foram obtidos na página do INMET.

Foram selecionadas quatro dentre as nove edificações de salas de aula na universidade localizada em Joinville. As edificações localizadas em Joinville foram chamadas de JA, JB, JC e JD. Na cidade de São José foram selecionadas duas edificações das cinco existentes. As edificações de São José foram chamadas de SA e SB. Para a escolha das salas de aula, excluíram-se aquelas que eram utilizadas por apenas um curso de graduação, optando-se por salas que tinham ocupação heterogênea (diferentes idades e cursos). As salas foram nomeadas com o código da edificação e com o número que indicava o pavimento e a posição da sala de

acordo com a numeração existente. As edificações selecionadas são mostradas na Figura 17. Foram selecionadas doze salas de aula em Joinville. As salas de aula eram de alvenaria de blocos cerâmicos com janelas basculantes, equipadas com aparelhos de ar-condicionado *split* e não possuíam ventiladores de teto. Os controles dos aparelhos de ar-condicionado ficam nas salas de aula e podem ser utilizados pelos professores e estudantes. Em São José foram selecionadas dezesseis salas de aula. As salas de aula localizadas em São José eram de alvenaria de blocos de concreto com janelas do tipo maxim-ar, equipadas com aparelhos de ar-condicionado do tipo split e não possuíam ventiladores de teto. As salas de aula de Joinville eram utilizadas por estudantes dos cursos de licenciatura em matemática e física, engenharia civil, elétrica e mecânica. As salas de aula de São José eram utilizadas por estudantes dos cursos de arquitetura e urbanismo, direito, publicidade, odontologia, enfermagem, biomedicina, nutrição, farmácia e engenharia civil.



A quantidade de edificações selecionadas nas duas universidades foi diferente, mas a quantidade de salas de aula selecionadas foi similar. Isso ocorreu pois, para a pesquisa, foram selecionadas salas que eram usadas apenas para aulas convencionais, ou seja, com os estudantes sentados enquanto o professor realiza a exposição do conteúdo. As salas que são usadas para laboratórios ou que tem outra dinâmica de uso foram excluídas da amostra, pois neste caso os alunos desenvolvem atividades diferentes, o que implicaria em diferentes taxas metabólicas. Na universidade de Joinville os laboratórios são distribuídos em diversos edifícios. Isso fez com

que fosse necessário selecionar diversos edifícios para obter um número maior de salas de aula. Por exemplo, na edificação JC há onze salas e apenas uma era utilizada para aulas convencionais enquanto as outras são laboratórios ou salas de atendimento. Na universidade de São José a situação é diferente, pois neste caso os laboratórios são agrupados na mesma edificação enquanto as salas de aula são agrupadas em outras três edificações do campus. Assim, mesmo selecionando uma quantidade menor de edificações na universidade de São José, a quantidade de salas foi semelhante à quantidade escolhida em Joinville. Não foi possível selecionar exatamente o mesmo número de salas de aula nas duas universidades pois a seleção dependia do consentimento prévio de cada professor para receber o estudo de campo durante vários dias letivos.

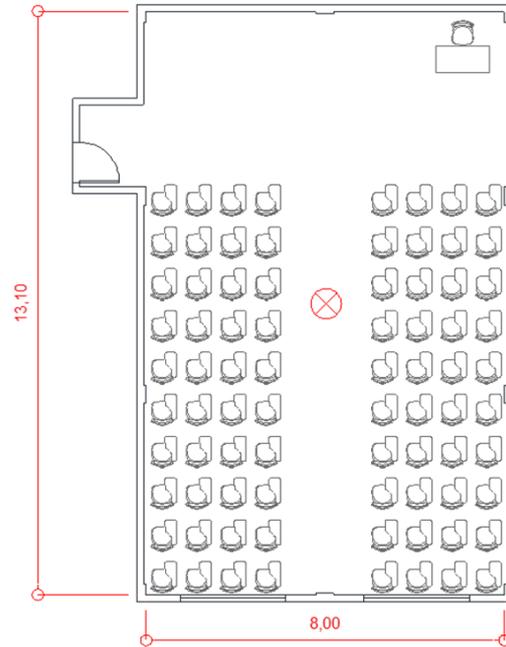
3.2 Coleta de dados

O estudo de campo foi desenvolvido em dois períodos, antes e depois do recesso acadêmico de verão dos estudantes. O primeiro período do estudo de campo ocorreu entre o dia 26 de setembro de 2022 e o dia 13 de dezembro de 2022. Em dezembro, o estudo de campo foi interrompido devido ao recesso acadêmico. O segundo período iniciou em 28 de fevereiro de 2023 e foi encerrado no dia 10 de julho de 2023. As datas foram escolhidas de modo que fossem realizadas medições em todas as estações do ano.

3.2.1 Instrumentos utilizados

Simultaneamente à coleta de dados dos questionários, foi realizada a medição das seguintes variáveis ambientais: temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa do ar e velocidade do ar. Foram utilizadas três estações microclimáticas SENSU desenvolvidas e calibradas pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas (LMPT) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). As estações são as mesmas utilizadas por Rupp (2018) e, de acordo com o autor, possuem sensor de temperatura de bulbo seco e termoanemômetro omnidirecional, sensor de umidade relativa e sensor de temperatura de globo (esfera metálica com diâmetro de 15cm). A Figura 18 apresenta a posição adotada para a estação microclimática em um dos tipos de salas de aula estudados. Detalhes sobre as salas de aula que foram objeto desta pesquisa são mostrados no Apêndice A. A Figura 19 apresenta as imagens de algumas salas de aula onde o estudo de campo foi desenvolvido.

Figura 18 – Planta baixa de uma das salas de aula utilizadas no estudo de campo



⊗ Posição da estação microclimática durante o estudo de campo
As cotas estão em metros.

Figura 19 – Imagens das salas de aula utilizadas no estudo de campo



(a) SA101 (São José)



(b) SB104 (São José)



(c) JD301 (Joinville)



(d) JC105 (Joinville)

3.2.2 Medição e cálculo das variáveis ambientais internas

As estações microclimáticas foram configuradas para medir as variáveis ambientais em intervalos de um minuto. Durante o estudo de campo, as salas também poderiam operar com ventilação natural. Para essas condições, foi necessário determinar a temperatura operativa das salas. Para determinar a temperatura operativa, inicialmente foi calculada a temperatura radiante média por meio da Equação 3, conforme descrito na ISO 7726 (1998).

$$T_r = \left((T_G + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 \cdot V_a^{0,6} \cdot (T_G - T_a) \right)^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (3)$$

Onde:

T_r é a temperatura radiante média (°C);

T_G é a temperatura de globo (°C);

V_a é a velocidade do ar (m/s);

T_a é a temperatura do ar (°C).

A temperatura operativa foi calculada por meio da Equação 4, de acordo com o procedimento descrito pela ASHRAE 55 (2020).

$$T_o = A \cdot T_a + (1 - A) \cdot T_r \quad (4)$$

Onde:

T_o é a temperatura operativa (°C);

T_a é a temperatura do ar (°C);

A é o coeficiente adimensional recomendado de acordo com a velocidade do ar ($A=0,5$ para $V_a < 0,2m/s$; $A=0,6$ para $0,2 < V_a < 0,6m/s$ e $A=0,7$ para $0,6 < V_a < 1,0m/s$;

T_r é a temperatura radiante média (°C).

3.2.3 Medição e cálculo da temperatura externa

Durante o estudo de campo foram utilizadas as medidas de temperatura do ar externo. A temperatura do ar externo foi obtida a partir de duas estações climáticas localizadas próximas às universidades, conforme foi descrito na subseção 3.1. A temperatura do ar externo foi utilizada para calcular a temperatura média predominante do ar externo. Para cada dia do estudo

de campo a temperatura predominante do ar externo foi calculada utilizando-se as temperaturas médias do dia do estudo e dos seis dias anteriores por meio da Equação 5 (ASHRAE, 2020).

$$T_{MPA} = (1 - \alpha) \sum_{i=1}^7 \alpha^{i-1} T_{ext (d-i)} \quad (5)$$

Onde:

T_{MPA} é a temperatura média predominante do ar externo;

α é uma constante. Adotou-se neste estudo o valor de 0,8 assim como Torriani *et al.* (2023);

i é o número que relaciona a quantidade de dias utilizada para o cálculo da temperatura média predominante do ar externo (neste caso, sete dias);

T_{ext} é a temperatura média de cada dia utilizado no cálculo da temperatura média predominante do ar externo (neste caso, os sete dias anteriores ao dia em questão);

d é o dia para o qual foi calculada a temperatura média predominante do ar externo.

3.2.4 Densidade de ocupação das salas de aula

A quantidade de estudantes na sala de aula pode influenciar os votos de sensação térmica (Liu *et al.*, 2019). Além disso, a ocupação das salas de aula não ocorre de forma constante em todos os períodos de aula. Assim, em cada medição de campo, a partir do número de estudantes presentes na sala de aula, foi calculada a densidade de ocupação da sala por meio da Equação 6.

$$d_o = \frac{n_e}{n_m} \quad (6)$$

Onde:

d_o é a densidade de ocupação da sala de aula;

n_e é o número de estudantes na sala de aula durante o estudo de campo;

n_m é o número máximo de estudantes de acordo com a capacidade de cada sala de aula.

3.2.5 Questionário

O questionário desenvolvido para esta pesquisa levou em consideração o que está disposto na ASHRAE 55 (2020). Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da

Universidade Federal de Santa Catarina, conforme parecer nº 61915822.2.0000.0121. Após a tabulação dos dados coletados nos questionários, todas as linhas de dados foram anonimizadas. O questionário utilizado nesta pesquisa foi dividido em partes conforme descrito a seguir.

Na primeira parte do questionário foram levantadas características gerais:

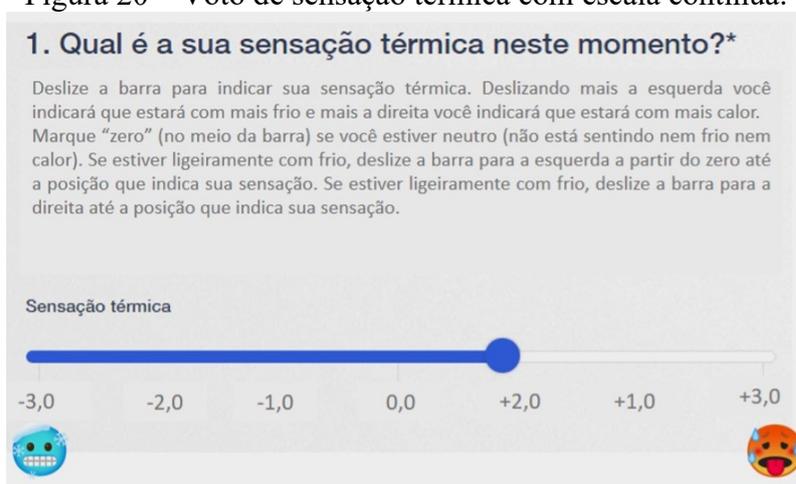
- gênero: os participantes respondiam se eram homens ou mulheres;
- altura e peso corporal: foram respondidos diretamente pelos participantes;
- vestimenta: os estudantes marcavam em uma lista quais peças de roupa estavam usando durante a primeira parte do questionário. Cada peça de roupa equivale a um valor de resistência térmica entre o corpo e o ambiente. O valor da resistência térmica referente a cada peça de roupa foi obtido de acordo com a ISO 7730 (2005);
- atividade realizada: a taxa metabólica também foi adotada de acordo com as atividades dos estudantes. De acordo com a ISO 7730 (2005), a taxa metabólica de atividades sedentárias (escritório e escolas) é de 1,2 met.

Nesta parte do questionário também foram incluídas perguntas para caracterização socioeconômica dos estudantes. Para caracterização socioeconômica, os estudantes foram questionados sobre: a renda média, se trabalham para o próprio sustento, se já foram beneficiários de programas sociais ou auxílios na universidade, se moram com os pais e se mudaram de cidade para cursar a graduação.

Na segunda parte do questionário, foi realizada a avaliação em tempo real simultânea à medição das variáveis ambientais. Nesta etapa do questionário, foram indicadas perguntas com resposta em escala de sete pontos para sensação térmica e conforto térmico. Nesta parte do questionário também foi incluída uma pergunta sobre a troca de vestimenta dos estudantes em relação ao que estavam vestindo quando respondiam a primeira parte do questionário. No questionário eletrônico, os estudantes, em seus *smartphones*, deslizavam uma barra que variava de -3 a +3 para identificar sua sensação térmica, como mostra a Figura 20. Incluiu-se uma pergunta quanto à aceitabilidade térmica do ambiente (aceitável ou inaceitável) e sobre a preferência térmica (preferir estar mais aquecido (+1), mais resfriado (-1) ou permanecer como está (0)). As perguntas referentes à sensação térmica, aceitabilidade térmica e preferência térmica eram respondidas por meio de uma barra deslizante e foram incluídas no questionário assim como proposto por outros autores (Balbis-Morejón *et al.*, 2020; Hu *et al.*, 2022; Rupp; Ghisi, 2017). O questionário foi aplicado utilizando a plataforma Survio que permitia o uso de barras deslizantes em escala contínua para que o usuário respondesse. Os estudantes foram

questionados com relação à velocidade do ar, umidade do ar e ao consumo de bebidas e alimentos quentes ou frios. Foram incluídas perguntas relativas à abertura de portas ou janelas ou acionamento de ar-condicionado assim como o questionário proposto por Dai e Jiang (2021) para que fosse possível avaliar os comportamentos adaptativos ambientais. Para avaliar os comportamentos adaptativos pessoais, todas as vezes que a segunda parte do questionário era repetida, os estudantes eram perguntados se tinham acrescentado ou retirado alguma peça de roupa e se haviam ingerido alguma bebida gelada ou quente. Quando os estudantes se ausentavam, eram aconselhados a responder o questionário se já estivessem na sala há mais de 30 minutos para evitar variações indesejáveis na taxa metabólica da amostra. O questionário completo está disponível no Apêndice B.

Figura 20 – Voto de sensação térmica com escala contínua.

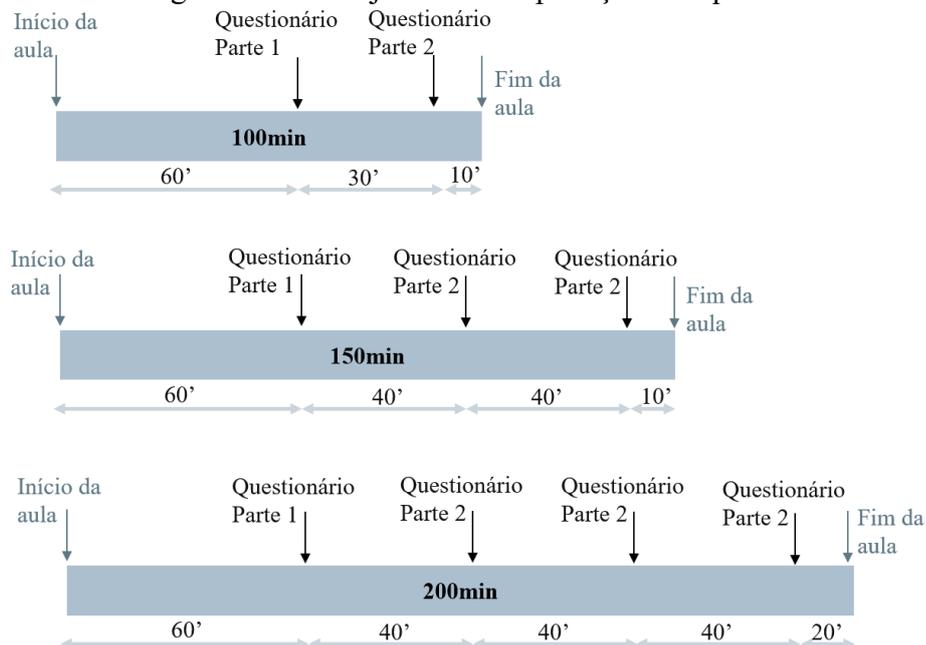


3.2.6 Aplicação do questionário

Para dar início a cada levantamento do estudo de campo, foi necessária a instalação dos equipamentos. Para isso, foi necessário que, pelo menos 30 minutos antes do início das aulas as estações já estivessem em operação. Assim, os horários propostos para instalação das estações foram: 07h00 para as turmas do primeiro período da manhã (início da aula às 07h30) e 13h00 para as turmas do primeiro período da tarde (início da aula às 13h30). Os parâmetros ambientais foram registrados após os sensores serem colocados em ambientes fechados por 30 min e apresentarem valores estáveis (Hu *et al.*, 2022). As estações foram posicionadas no centro das salas de aula a 1,1 m acima do nível do chão em um suporte vertical, conforme recomendado pela ASHRAE 55 (2020) e descrito por outros autores (Hu *et al.*, 2022; Jowkar *et al.*, 2020b; Zaki *et al.*, 2017).

Após a instalações dos equipamentos, aguardava-se a chegada do professor responsável pela aula e pelos estudantes, e conforme combinado previamente, fazia-se uma explicação da pesquisa e explicação do funcionamento dos questionários. A primeira parte dos questionários foi respondida uma única vez no início do estudo de campo. A segunda parte do questionário foi aplicada após os estudantes estarem sentados nas salas de aula por, pelo menos, uma hora. Essa conduta, sugerida por Jowkar *et al.* (2020b), foi adotada para maximizar a exposição dos estudantes às condições ambientais da sala de aula e minimizar os efeitos da taxa metabólica nas avaliações térmicas. Como há turmas com aulas de 100 minutos, 150 minutos e 200 minutos, a repetição da segunda parte do questionário foi proposta de acordo com o que é mostrado na Figura 21. A proposta de repetições a cada 40 minutos também levou em consideração a dinâmica das salas de aula, pois a opção de repetir o estudo mais vezes na mesma aula poderia causar perturbação na sala de aula e diminuir a adesão dos professores que se dispuseram a receber o estudo de campo durante as suas aulas. Durante toda a aplicação dos questionários, o modo de operação das salas era monitorado (ventilação natural ou ar-condicionado). Os controles de ar-condicionado estavam sempre em posse dos professores. Os estudantes costumavam solicitar ao professor que o ar-condicionado fosse acionado. Quando havia mudança de operação das salas de aula, os dados coletados eram armazenados no banco de dados específicos (ventilação natural ou ar-condicionado). Desta forma, foi possível separar dados de campo medidos durante a operação com ar-condicionado e durante a operação com ventilação natural.

Figura 21 – Planejamento de aplicação dos questionários.



3.3 Cálculo dos índices de conforto térmico

Após a coleta de dados de campo, os índices de conforto térmico foram calculados: Voto médio estimado (PMV), a temperatura de neutralidade térmica, a temperatura preferida e a temperatura de conforto, esta última obtida por meio do método de Griffiths. Para cada voto de sensação térmica de cada estudante, um valor de PMV e um valor de temperatura de conforto foi associado.

3.3.1 Voto médio estimado (PMV) e porcentagem estimada de insatisfeitos (PPD)

Os índices PMV e PPD foram calculados para todos os dados coletados durante o estudo de campo com o auxílio do programa computacional R Studio. Os scripts desenvolvidos por Silva, Ghisi e Lamberts (2016) foram utilizados para calcular o PMV/PPD para cada um dos levantamentos de campo.

3.3.2 Temperatura de neutralidade térmica

A temperatura de neutralidade térmica dos estudantes é definida como a temperatura para a qual os estudantes votariam zero ($TSV=0$) na escala de sensação térmica. Essa temperatura foi obtida por meio de regressão linear entre os votos de sensação térmica dos estudantes e a temperatura operativa. A temperatura operativa foi calculada conforme o procedimento descrito na subseção 3.2.2.

3.3.3 Temperatura preferida pelos estudantes

A temperatura preferida é definida como a temperatura operativa para a qual os estudantes votariam zero na escala de preferência térmica (preferência para o ambiente térmico permanecer como está). A determinação das temperaturas preferidas foi realizada por meio de regressão linear entre o voto de preferência térmica (*thermal preference vote*) (TPV) e a temperatura operativa.

3.3.4 Temperatura de conforto

A temperatura de conforto é definida como a temperatura para a qual os estudantes votariam zero na escala de sensação térmica. A temperatura de conforto foi calculada por meio do método de Griffiths, mostrado na Equação 7.

$$T_c = T_o + \frac{0 - TSV}{G} \quad (7)$$

Onde:

T_c é a temperatura de conforto (°C);

T_o é a temperatura operativa (°C);

TSV é o voto de sensação térmica do usuário;

G é a constante de Griffiths (°C⁻¹).

Foi adotada a constante de Griffiths de 0,5°C⁻¹ de acordo com Lamberti *et al.* (2023). De acordo com Rupp *et al.* (2022), a constante de Griffiths tem, na verdade, o comportamento de uma variável de acordo com a faixa de temperatura e votos de sensação térmica analisados. No entanto, de acordo com Lamberti *et al.* (2023), faltam estudos para a constante de Griffiths em salas de aula universitárias.

3.4 Modelo adaptativo

O modelo de conforto adaptativo considera que a temperatura de conforto para os ocupantes está relacionada com a temperatura média exterior, os tipos de edifícios e as regiões climáticas. Para cada voto de sensação térmica obtido durante o estudo de campo, foi calculada a temperatura operativa (conforme a subseção 3.2.2) e a temperatura predominante do ar externo (conforme subseção 3.2.3). Essas informações foram associadas aos votos de sensação térmica reais (obtidos por meio dos questionários) para verificar se o modelo adaptativo era capaz de prever o conforto térmico dos estudantes.

3.5 Resumo das variáveis envolvidas nesta pesquisa

O Quadro 4 apresenta o resumo das variáveis ambientais externas e internas que foram utilizadas neste estudo. Por se tratar de um estudo que envolveu as expectativas e preferências

de estudantes em situação real do dia-dia, as variáveis pessoais foram coletadas perguntando diretamente aos estudantes por meio dos questionários (conforme descrito na subseção 3.2.5). As variáveis pessoais estão resumidas no Quadro 5. Os índices de conforto térmico utilizados nesta pesquisa estão resumidos no Quadro 6.

Quadro 4 – Variáveis ambientais externas e internas envolvidas nesta pesquisa

Tipo	Variável	Unidade	Classificação	Método de obtenção
Ambiente Externo	Temperatura do ar	°C	Contínua	Medida por meio de estações climáticas próximas às universidades e calculada de acordo com o método da ASHRAE (2020)
	Temperatura predominante do ar externo	°C	Contínua	Calculada por meio dos valores de temperatura do ar das estações climáticas próximas às universidades e calculada de acordo com o método da ASHRAE (2020)
	Umidade do ar externo	%	Contínua	Medida por meio de estações climáticas próximas às universidades
Ambiente Interno	Temperatura radiante média	°C	Contínua	Calculada de acordo com o procedimento descrito pela ISO 7726 (1998)
	Temperatura de globo	°C	Contínua	Medida durante o desenvolvimento do estudo de campo por meio de estação microclimática
	Umidade relativa do ar interno	%	Contínua	Medida durante o desenvolvimento do estudo de campo por meio de estação microclimática
	Velocidade do ar	m/s	Contínua	Medida durante o desenvolvimento do estudo de campo por meio de estação microclimática

Quadro 5 – Variáveis pessoais envolvidas nesta pesquisa

Tipo	Variável	Unidade	Classificação	Método de obtenção
Variáveis pessoais	Taxa metabólica	met	Contínua	Adotada de acordo com as atividades dos estudantes ISO 7730 (2005)
	Isolamento de vestimenta	clo	Contínua	O valor da resistência térmica referente a cada peça de roupa foi obtido de acordo com a ISO 7730 (2005)
	Idade	anos	Contínua	Coletado por meio do questionário eletrônico
	Peso corporal	kg	Contínua	Coletado por meio do questionário eletrônico
	Altura	m	Contínua	Coletado por meio do questionário eletrônico
	Índice de massa corporal (IMC)	kg/m ²	Contínua	Calculado por meio da relação entre o peso e o quadrado da altura
	Gênero	-	Qualitativa	Coletado por meio do questionário eletrônico

Quadro 6 – Índices de conforto térmico.

Tipo	Variável	Unidade	Classificação	Método de obtenção
Índices de conforto térmico	Voto médio estimado (PMV)	-	Contínua	Calculado por meio dos scripts de Silva, Ghisi e Lamberts (2016)
	Porcentagem estimada de insatisfeitos (PPD)	-	Contínua	Calculado por meio dos scripts de Silva, Ghisi e Lamberts (2016)
	Voto de sensação térmica (TSV)	-	Contínua	Coletado por meio do questionário eletrônico
	Voto de aceitabilidade térmica (TAV)	-	Contínua	Coletado por meio do questionário eletrônico
	Voto de preferência térmica (TPV)	-	Contínua	Coletado por meio do questionário eletrônico
	Temperatura operativa	°C	Contínua	Calculada de acordo com o procedimento descrito pela ASHRAE (2020)
	Temperatura de neutralidade térmica	°C	Contínua	Calculada por meio de regressão linear
	Temperatura preferida	°C	Contínua	Calculada por meio de regressão linear
	Temperatura de conforto térmico	°C	Contínua	Calculada por meio do método de Griffiths

Por fim, para responder ao objetivo geral desta pesquisa, foram obtidos dados que pudessem caracterizar de forma socioeconômica os estudantes que fizeram parte do estudo de campo. As variáveis de agrupamento do contexto socioeconômico serviram como variáveis para agrupamento e estão resumidas no Quadro 7. A obtenção das variáveis de contexto socioeconômico é descrita detalhadamente na subseção 3.7.

Quadro 7 – Variáveis consideradas para os aspectos socioeconômicos.

Tipo	Variável	Unidade	Classificação	Método de obtenção
Aspectos socioeconômicos	Faixa de renda per capita	R\$/pessoa	Qualitativa	Coletado por meio do questionário eletrônico
	Situação de trabalho remunerado	-	Qualitativa	Coletado por meio do questionário eletrônico
	Curso de graduação	-	Qualitativa	Coletado por meio do questionário eletrônico.
	Etnia	-	Qualitativa	Coletado por meio do questionário eletrônico.

3.6 Modelos de conforto térmico para salas de aula

Ao constatar que havia diferenças entre a sensação térmica real dos estudantes e a previsão do conforto térmico pelos modelos existentes (analítico e adaptativo), foram propostos novos modelos de conforto térmico específicos para estudantes universitários com base nos dados coletados durante o estudo de campo.

3.6.1 Modelos de conforto térmico analítico para salas de aula

Na abordagem analítica, as possibilidades de adaptação não são levadas em consideração. Para a proposição dos modelos de conforto térmico analítico, foram calculadas as regressões lineares entre os votos de sensação térmica dos estudantes (TSV) e a temperatura operativa, e entre a preferência térmica dos estudantes (TPV) e a temperatura operativa. A partir dessas regressões é possível determinar as temperaturas de neutralidade térmica (TSV=0) e de preferência térmica (TPV=0) para as salas de aula universitárias. Diversos modelos analíticos de conforto térmico para salas de aula universitárias (baseados na regressão linear entre os votos de sensação térmica reais e a temperatura operativa) foram desenvolvidos e apresentados na literatura científica (Bhandari; Tadepalli; Gopalakrishnan, 2023; Dai; Jiang, 2021; Guevara; Soriano; Mino-Rodriguez, 2021; Jing *et al.*, 2019; Talukdar *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021; Zaki *et al.*, 2017). No entanto, estes estudos foram realizados em climas diferentes do brasileiro (como mostrado na subseção 2.1). Além disso, as sensações e preferências térmicas dependem, muitas vezes, de preferências e expectativas individuais, tornando necessária a elaboração de novos modelos para diferentes contextos.

3.6.2 Modelos de conforto térmico adaptativo para salas de aula

Para o desenvolvimento dos modelos de conforto térmico adaptativo, foi realizada uma associação entre a temperatura operativa e a temperatura média predominante do ar externo, similar ao modelo adaptativo proposto pela ASHRAE (2020). Foi necessário determinar a temperatura de conforto térmico para cada situação. As temperaturas de conforto térmico foram determinadas de duas formas: por meio de regressão linear entre o voto de sensação térmica e a temperatura operativa (conforme descrito na subseção 3.3.2) e por meio do método de Griffiths (conforme descrito na subseção 3.3.4). O procedimento para o desenvolvimento dos modelos adaptativos foi adaptado de Rupp *et al.* (2018). Os dados coletados no estudo de campo foram agrupados de acordo com a cidade e o modo de funcionamento. O p-valor foi calculado para avaliar a significância de cada modelo.

A ASHRAE 55 (2020) define os padrões de conforto adaptativo aplicáveis a edifícios com ventilação natural (zonas de conforto aceitável de 80% e 90%). Este padrão foi utilizado para avaliação dos resultados obtidos no estudo de campo. Para cada modelo adaptativo desenvolvido, foram calculadas as zonas de conforto aceitável de 80% e 90%. Para calcular as zonas de conforto aceitável, foi necessário calcular o desvio da temperatura de neutralidade

térmica (ou de conforto térmico). Esse desvio representa a variação em torno da temperatura de neutralidade térmica (ou de conforto térmico) para o qual 80% ou 90% dos estudantes sentem-se confortáveis com o ambiente térmico. Inicialmente, foram calculadas as diferenças entre a temperatura operativa e a temperatura de neutralidade térmica (ou de conforto térmico) por meio das Equações 8 e 9.

$$T_{dif} = T_o + T_{neut} \quad (8)$$

$$T_{dif} = T_o + T_c \quad (9)$$

Onde:

T_{dif} é a diferença entre a temperatura operativa e a temperatura de neutralidade térmica (ou de conforto térmico) (°C);

T_o é a temperatura operativa (°C);

T_{neut} é a temperatura de neutralidade térmica (°C);

T_c é a temperatura de conforto térmico de Griffiths (°C).

A partir do deslocamento da temperatura de neutralidade térmica (ou de conforto térmico) e com as respectivas porcentagens de desconforto térmico por frio e por calor, obtidas no estudo de campo, aplicou-se o modelo de regressão logística para determinar as equações que denotam a probabilidade de desconforto térmico em cada situação. Outros estudos utilizaram o modelo de regressão logística para representar o desconforto térmico por frio e por calor (Indraganti *et al.*, 2014; Ji; Wang, 2019; Rupp; Dear; Ghisi, 2018). A Figura 22 mostra o modelo genérico de regressão logística e a indicação das faixas de deslocamento da temperatura de neutralidade térmica (ou de conforto térmico) que correspondem aos percentuais de 80% e 90% de estudantes termicamente confortáveis. Nesta tese, os modelos de regressão logística foram obtidos a partir das diferenças reais calculadas entre as temperaturas de neutralidade térmica (ou de conforto térmico) e os percentuais reais de desconforto por frio e por calor obtidos no estudo de campo. O modelo de regressão logística da probabilidade de desconforto térmico é definido na Equação 8.

$$P(\text{desconf}) = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 T_{dif})}} \quad (8)$$

Onde:

T_{neut} é a temperatura de neutralidade térmica (°C);

T_C é a temperatura de conforto térmico de Griffiths (°C);

a e b são os coeficientes da regressão linear desenvolvida para os dados obtidos no estudo de campo;

t_p é a faixa de deslocamento em torno da temperatura de neutralidade térmica (ou de conforto térmico) para as situações com 80% e 90% dos estudantes confortáveis (t_{80} e t_{90}).

3.7 Influência do contexto socioeconômico no conforto térmico

Para verificar se o contexto socioeconômico tem influência no conforto térmico dos estudantes, foi necessário analisar grupos com indivíduos que estavam submetidos a condições ambientais (umidade do ar, temperatura operativa, velocidade do ar e densidade de estudantes) e pessoais (isolamento de vestimenta, taxa metabólica, altura, peso corporal e idade) similares. Inicialmente, foi verificado se havia diferenças significativas para características socioeconômicas entre os estudantes das duas universidades por meio do teste de Mann-Whitney. Essa verificação foi necessária para que se pudesse decidir se a análise da influência do contexto socioeconômico seria realizada para as universidades de separadamente ou não. O procedimento descrito na subseção 3.7.2 fez com que a quantidade de votos de sensação térmica utilizada nesta análise fosse menor do que a quantidade de votos totais. Por este motivo, optou-se por agrupar os votos das duas universidades nesta parte da análise. O teste de Mann-Whitney é um teste não paramétrico que tem como objetivo verificar se duas amostras (grupos) não pareadas pertencem à mesma população. O teste de Mann-Whitney foi utilizado para verificar a igualdade das medianas das duas amostras (Grupo 1: votos de sensação térmica dos estudantes de Joinville e Grupo 2: votos de sensação térmica dos estudantes de São José) em relação aos dados de renda per capita.

Nesta etapa, para aplicar o teste de Mann-Whitney, inicialmente a variável analisada (renda per capita) foi ordenada de forma crescente. Depois de ordenado, a cada ponto amostral foi atribuído um valor que se refere à posição (ou posto) da variável. Por exemplo, a menor renda per capita ocupa a primeira posição em ordem crescente e recebe o valor 1 (primeiro posto), a segunda menor renda recebe o valor 2 (segundo posto) e assim por diante. Quando a variável se repete, o valor que representa o posto de todas as repetições é calculado pela média aritmética entre os postos repetidos. Posteriormente, são calculados os somatórios dos postos

para o grupo 1 e para o grupo 2 (neste caso para a universidade de Joinville e para a universidade de São José). Calcula-se, então, a estatística do teste para cada grupo (1 e 2) por meio das Equações 13 e 14, respectivamente.

$$U_1 = N_1 N_2 + \frac{N_1(N_1 + 1)}{2} \quad (13)$$

$$U_2 = N_1 N_2 + \frac{N_2(N_2 + 1)}{2} \quad (14)$$

Onde:

U_1 é a estatística de teste para o grupo 1;

U_2 é a estatística de teste para o grupo 2;

N_1 é o tamanho da amostra do grupo 1;

N_2 é o tamanho da amostra do grupo 2.

A estatística a ser utilizada no teste é o menor valor entre U_1 e U_2 . Com a estatística de teste calculada, comparou-se com o valor crítico da estatística de Mann-Whitney. A comparação também pode ser feita em termos de p-valor (maneira que foi utilizada nesta tese). Sabendo-se que o p-valor é definido como a probabilidade da estatística de teste z ser maior do que valor calculado de z , foi necessário calcular o valor da estatística de teste z . A estatística z foi calculada por meio da Equação 9.

$$z = \frac{U_{obs} - U_{esp}}{EP_U} \quad (9)$$

Onde:

z é a estatística do teste;

U_{obs} é o máximo valor entre U_1 e U_2 ;

U_{esp} é a média aritmética entre U_1 e U_2 ;

EP_U é o erro padrão, calculado por meio da Equação 10.

$$EP_U = \sqrt{\frac{N_1 \cdot N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}} \quad (10)$$

Onde:

N_1 é o tamanho da amostra do grupo 1;

N_2 é o tamanho da amostra do grupo 2.

3.7.1 Aspectos socioeconômicos analisados

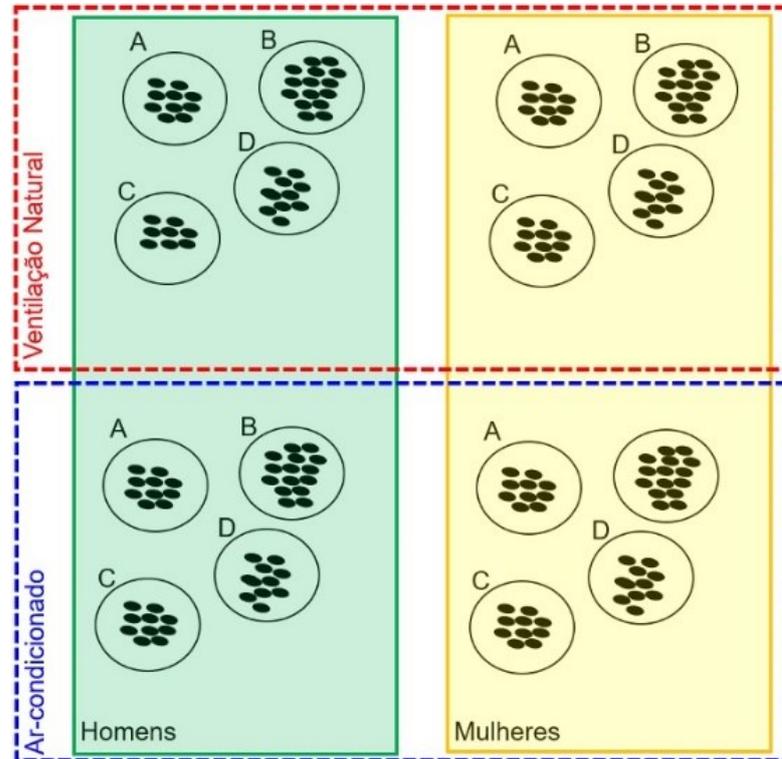
Os dados coletados no estudo de campo foram separados de acordo com o modo de operação das salas de aula: ventilação natural ou ar-condicionado e de acordo com o gênero. Os dados separados em gênero e modo de operação das salas de aula foram ainda agrupados em condições socioeconômicas. As condições socioeconômicas foram analisadas sob quatro aspectos (A, B, C e D) contendo as seguintes variáveis:

- Aspecto socioeconômico A - os votos foram divididos em quatro grupos relativos à faixa de renda per capita entre todos os estudantes: até R\$ 1000,00; acima de R\$1000,00 e abaixo de R\$ 2000,00; acima de R\$2000,00 e abaixo de R\$ 3000,00; acima de R\$ 3000,00 e abaixo de R\$ 4000,00; acima de R\$ 4000,00;
- Aspecto socioeconômico B – os votos foram divididos em dois grupos relativos à situação de trabalho: estudantes que trabalham e são responsáveis pelo seu próprio sustento; ou estudantes que trabalham, mas não são responsáveis pelo seu próprio sustento;
- Aspecto socioeconômico C – os votos foram divididos em treze grupos relativos ao curso de graduação no qual o estudante está matriculado;
- Aspecto socioeconômico D – os votos foram divididos em quatro grupos relativos às etnias as quais os estudantes pertencem: pardos, brancos, negros e indígenas.

Cada conjunto de votos continha as seguintes variáveis: ambientais (umidade do ar, temperatura operativa, velocidade do ar); pessoais (isolamento de vestimenta, taxa metabólica, altura, peso corporal e idade) e o voto de sensação térmica do estudante (TSV). Quando um indivíduo pertencia a mais de um grupo, as variáveis associadas a ele eram incluídas em todos os grupos a que pertencia. Os aspectos socioeconômicos, os modos de operação das salas e os gêneros foram considerados como variáveis qualitativas. A Figura 23 apresenta um esquema de como os votos foram separados de acordo com gênero, modo de operação e aspecto

socioeconômico a ser analisado. Na Figura 23, cada ponto representa a resposta de um estudante, ou seja, um conjunto das variáveis analisadas.

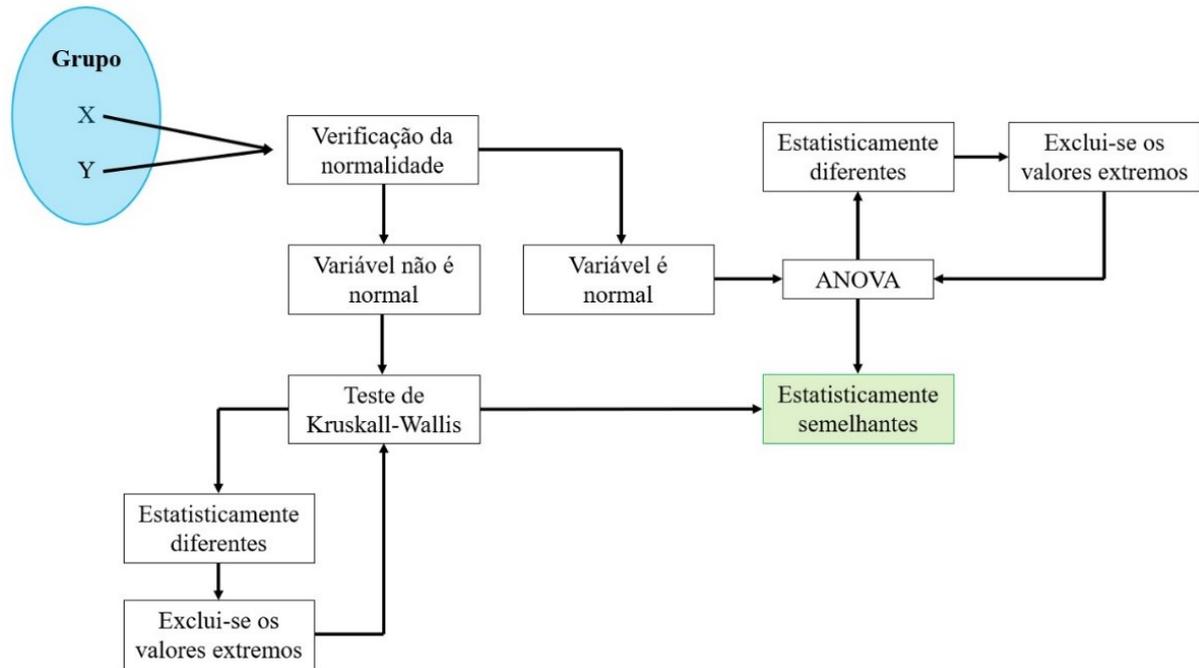
Figura 23 – Aspectos socioeconômicos analisados.



3.7.2 Amostra submetida a condições ambientais e pessoais similares

Para avaliar se existiam diferenças significativas entre o TSV e os aspectos socioeconômicos, foram selecionados votos de estudantes que estavam submetidos a ambientes térmicos similares e que possuíam características pessoais similares. O procedimento para obtenção de grupos com variáveis ambientais e pessoais similares foi adaptado de Maykot, Rupp e Ghisi (2018b) e é mostrado na Figura 24.

Figura 24 – Obtenção de grupos com variáveis estatisticamente semelhantes.



Cada voto de sensação térmica obtido no estudo de campo era associado a seis variáveis que influenciam o conforto térmico: ambientais (umidade do ar, temperatura operativa e velocidade do ar) e pessoais (idade, isolamento de vestimenta e índice de massa corporal, este último obtido pelo quociente entre o peso e o quadrado da altura). Para verificar a normalidade, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk em cada uma das variáveis indicadas acima. A estatística do teste de Shapiro-Wilk foi calculada por meio da Equação 11.

$$W_{cal} = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (11)$$

Onde:

W_{cal} é a estatística do teste de Shapiro-Wilk;

b é o somatório calculado por meio da Equação 12;

x_i é o valor que a variável a ser testada assume na i -ésima posição;

n é o tamanho da amostra;

\bar{x} é a média aritmética da variável a ser testada.

$$b = \sum a_{i,n} \cdot (x_{n-i+1} - x_i) \quad (12)$$

Onde:

a são constantes tabeladas para o teste;

x_i é o valor que a variável a ser testada assume na i -ésima posição;

n é o tamanho da amostra.

O p-valor para o teste de Shapiro-Wilk representa a probabilidade associada ao valor da estatística do teste calculada (W_{cal}). A hipótese nula do teste é de que a amostra provém de uma população com distribuição normal. Para cada uma dessas seis variáveis em cada grupo, o valor p foi calculado. Foi considerado o nível de significância para o teste de Shapiro-Wilk de 5%, ou seja, quando $p < 0,05$ rejeita-se a hipótese de normalidade. Para as variáveis, dentro dos grupos, que satisfaziam a hipótese de normalidade, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) com intuito de determinar se as diferenças entre as médias amostrais sugerem diferenças significativas entre os grupos. Quando a hipótese de normalidade não foi satisfeita, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. O teste de Kruskal-Wallis é uma alternativa à análise de variância quando as hipóteses de normalidade e de igualdade de variâncias não foram satisfeitas. A hipótese nula do teste de Kruskal-Wallis assume que as amostras em cada grupo sejam provenientes de populações com a mesma mediana. A estatística do teste de Kruskal-Wallis foi calculada por meio da Equação 13.

$$H_{cal} = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1) \quad (13)$$

Onde:

H_{cal} é a estatística do teste de Kruskal-Wallis;

N é o número de observações na amostra global, ou seja, a soma dos n_j ;

n_j é o número de observações do j -ésimo grupo;

R_j é a soma dos postos no j -ésimo grupo;

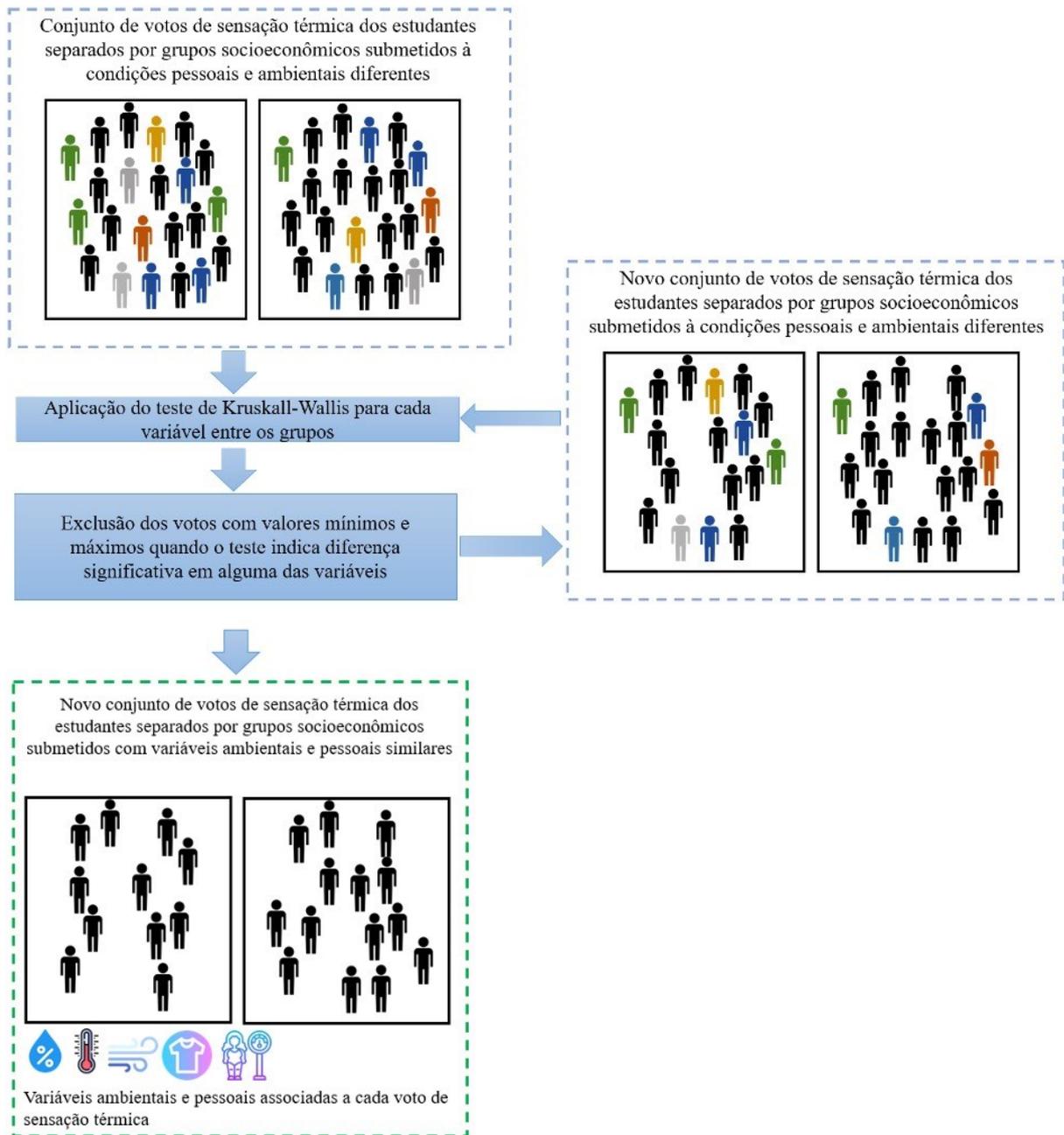
k é o número de grupos.

O p-valor para o teste de Kruskal-Wallis representa a probabilidade associada ao valor da estatística do teste calculada (H_{cal}). Quando o p-valor é menor do que 0,05, não há evidências para rejeitar a hipótese nula. A aplicação da ANOVA e do teste de Kruskal-Wallis tinha como objetivo verificar se havia diferenças significativas entre cada variável (umidade

relativa do ar, temperatura operativa, velocidade do ar, idade, isolamento de vestimenta e índice de massa corporal) quando comparadas entre os grupos de um aspecto socioeconômico. Quando os testes demonstravam que os grupos possuíam essas variáveis com diferenças estatisticamente significativas ($p\text{-valor} < 0,05$), os valores extremos (maior e menor valor) eram retirados da amostra e o teste era aplicado novamente, como mostrado na Figura 25.

O procedimento de retirada do maior e do menor valor foi repetido até que o teste indicasse que não havia diferença significativa entre os grupos ($p\text{-valor} > 0,05$), ou seja, os grupos apresentassem características ambientais e pessoais similares (Maykot; Rupp; Ghisi, 2018b). Esse procedimento é necessário para remover a influência desses fatores de confusão nos resultados (Havenith *et al.*, 2020). Se fosse utilizado um conjunto de votos de sensação térmica de estudantes que possuíam isolamento de vestimenta ou peso diferentes, por exemplo, isso certamente afetaria a percepção dos indivíduos em relação ao ambiente térmico, tornando impossível determinar se essa diferença na sensação térmica era causada pelo contexto socioeconômico ou por adaptação e características individuais. Depois de selecionar os conjuntos de dados com variáveis ambientais e pessoais cujos valores eram estatisticamente similares, os grupos foram submetidos novamente ao teste de Kruskal-Wallis. Desta vez, o teste de Kruskal-Wallis foi utilizado para verificar se existiam diferenças estatisticamente significativas entre os valores de TSV e os grupos de cada aspecto socioeconômico.

Figura 25 - Procedimento para agrupamento de votos de sensação térmica submetidos a condições ambientais e pessoais similares.



3.8 Análise dos dados

Cada resposta subjetiva de cada estudante, coletada no questionário, representa um ponto amostral que foi utilizado nas análises do quarto capítulo. Cada resposta obtida foi associada às condições pessoais dos estudantes (vestimenta, metabolismo, gênero, idade, altura, peso entre outros); às condições ambientais internas (medidas por meio das estações microclimáticas); às condições ambientais externas (obtidas por meio das estações climáticas que estavam

localizadas próximas às universidades); e aos índices de conforto térmico calculados (PMV e temperatura de Griffiths). Os dados foram organizados em uma planilha eletrônica que compreende o banco de dados obtidos no estudo de campo. Inicialmente, o banco de dados foi utilizado para compreender o perfil dos estudantes que fizeram parte desta pesquisa. Posteriormente, os dados foram analisados e comparados com os modelos de conforto térmico existentes. Em seguida, modelos de conforto térmico (analítico e adaptativo) foram elaborados a partir dos bancos de dados, conforme descrito na subseção 3.6. Para responder ao objetivo geral desta tese, um novo banco de dados foi criado (a partir do banco de dados geral) no qual as respostas subjetivas dos estudantes pertenciam a um grupo com condições ambientais estatisticamente semelhantes. Neste novo banco de dados, foram conduzidas análises estatísticas, conforme descrito na subseção 3.7, para verificar se diferenças socioeconômicas influenciaram as respostas de sensação térmica dos estudantes.

4. Resultados e discussões

A pesquisa de campo coletou dados em 140 dias com a participação de 2034 estudantes diferentes, sendo 776 estudantes de Joinville e 1258 estudantes de São José. Ao todo foram obtidas 13200 respostas válidas nos questionários aplicados. No período em que foi desenvolvido o estudo de campo, as temperaturas médias externas de Joinville e São José foram, respectivamente, 21,7°C e 21,4°C com umidades relativa do ar de 83,9% e 75,2% e velocidade média do ar externo 0,5 m/s e 1,2 m/s. As Figuras 26 e 27 mostram, respectivamente, a variação mensal da temperatura externa e umidade relativa do ar externo para a cidade de Joinville de acordo com os dados obtidos na estação climática localizada no aeroporto da cidade no período de 2014 a 2023 e durante o estudo de campo (2022-2023). As Figuras 28 e 29 mostram a variação anual da temperatura externa e umidade relativa do ar externo para a cidade de São José no mesmo período.

Figura 26 – Temperatura mínima, média e máxima mensal em Joinville.

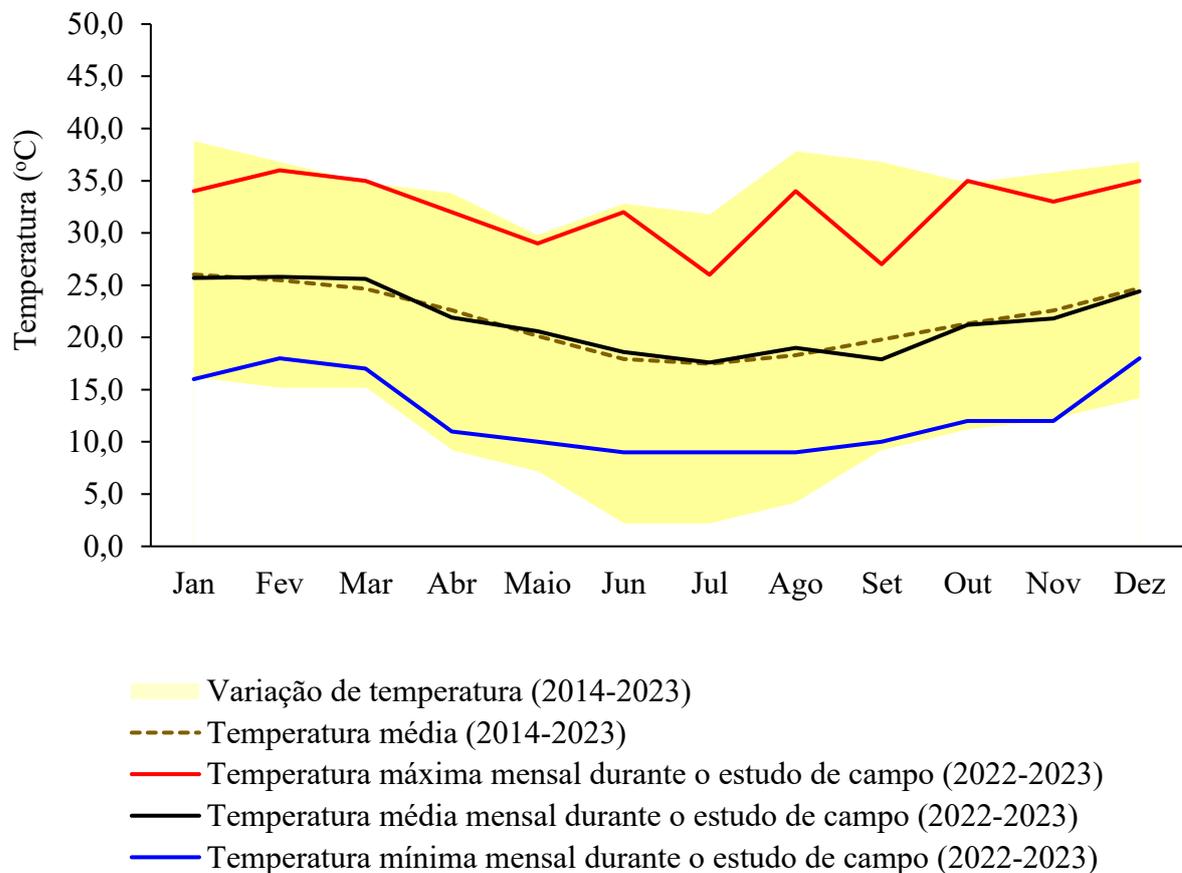


Figura 27 – Umidade relativa do ar mínima, média e máxima mensal em Joinville.

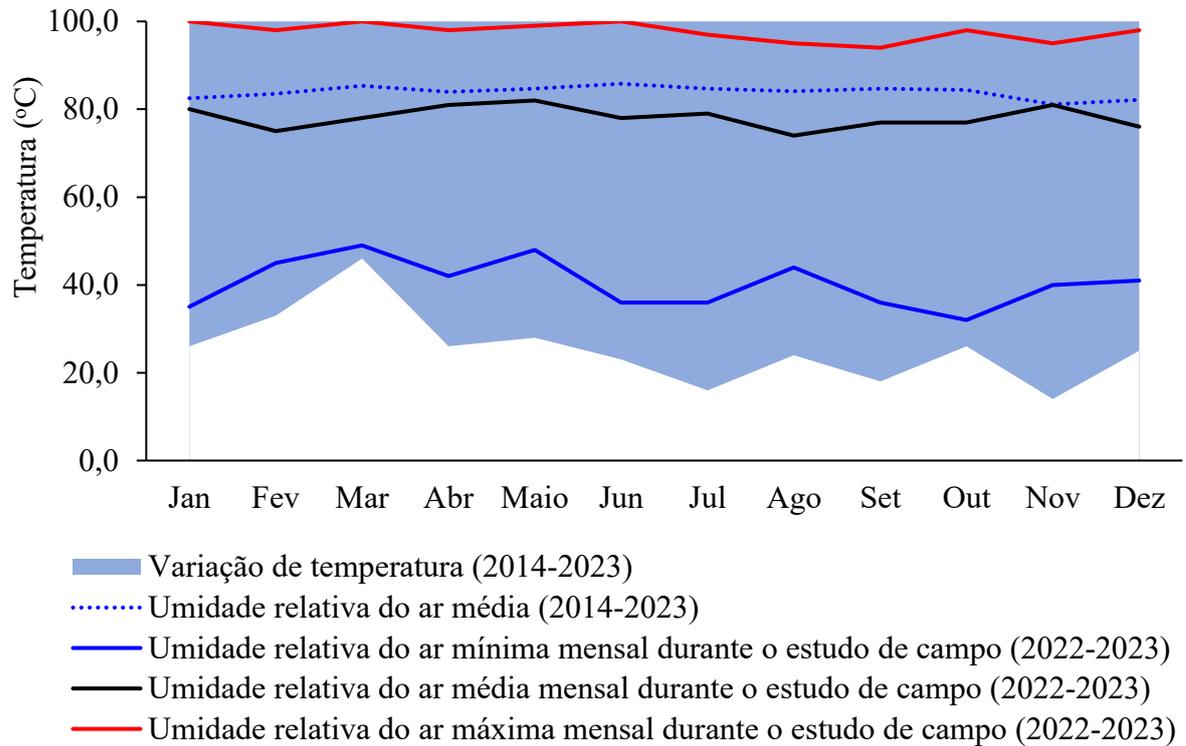


Figura 28 – Temperatura mínima, média e máxima mensal em São José.

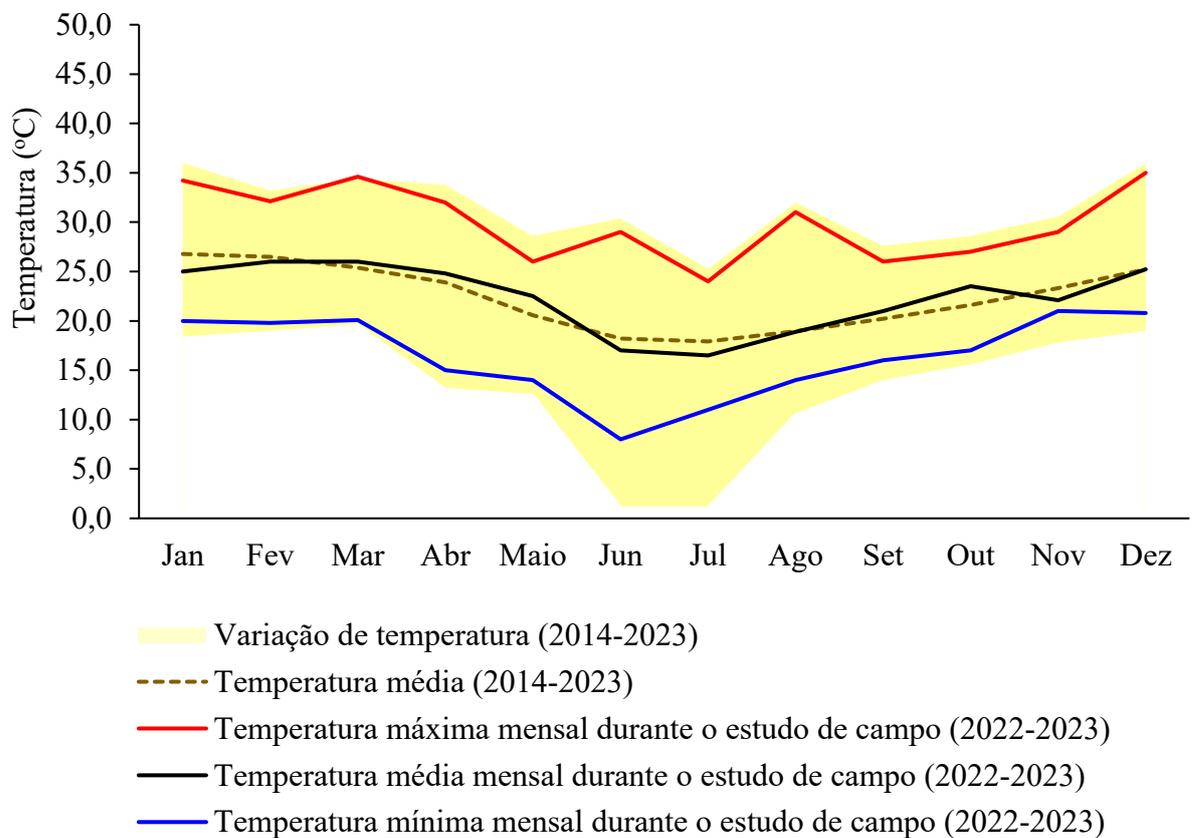
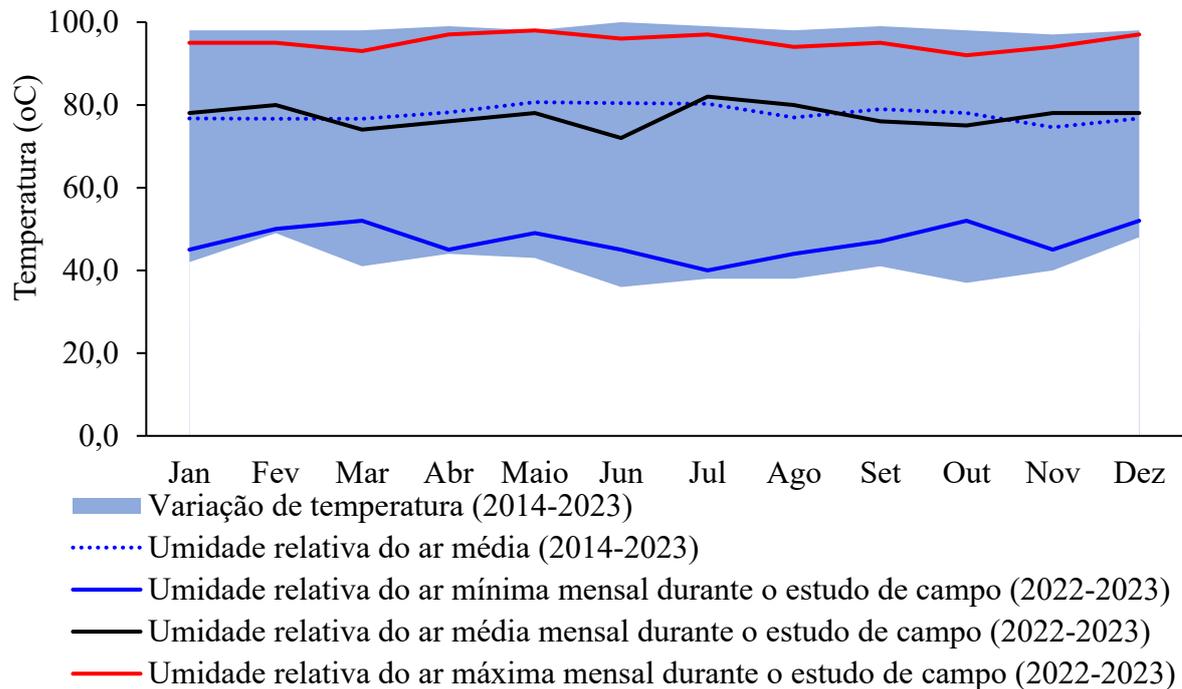


Figura 29 – Umidade relativa do ar mínima, média e máxima mensal em São José.



4.1 Perfil dos estudantes

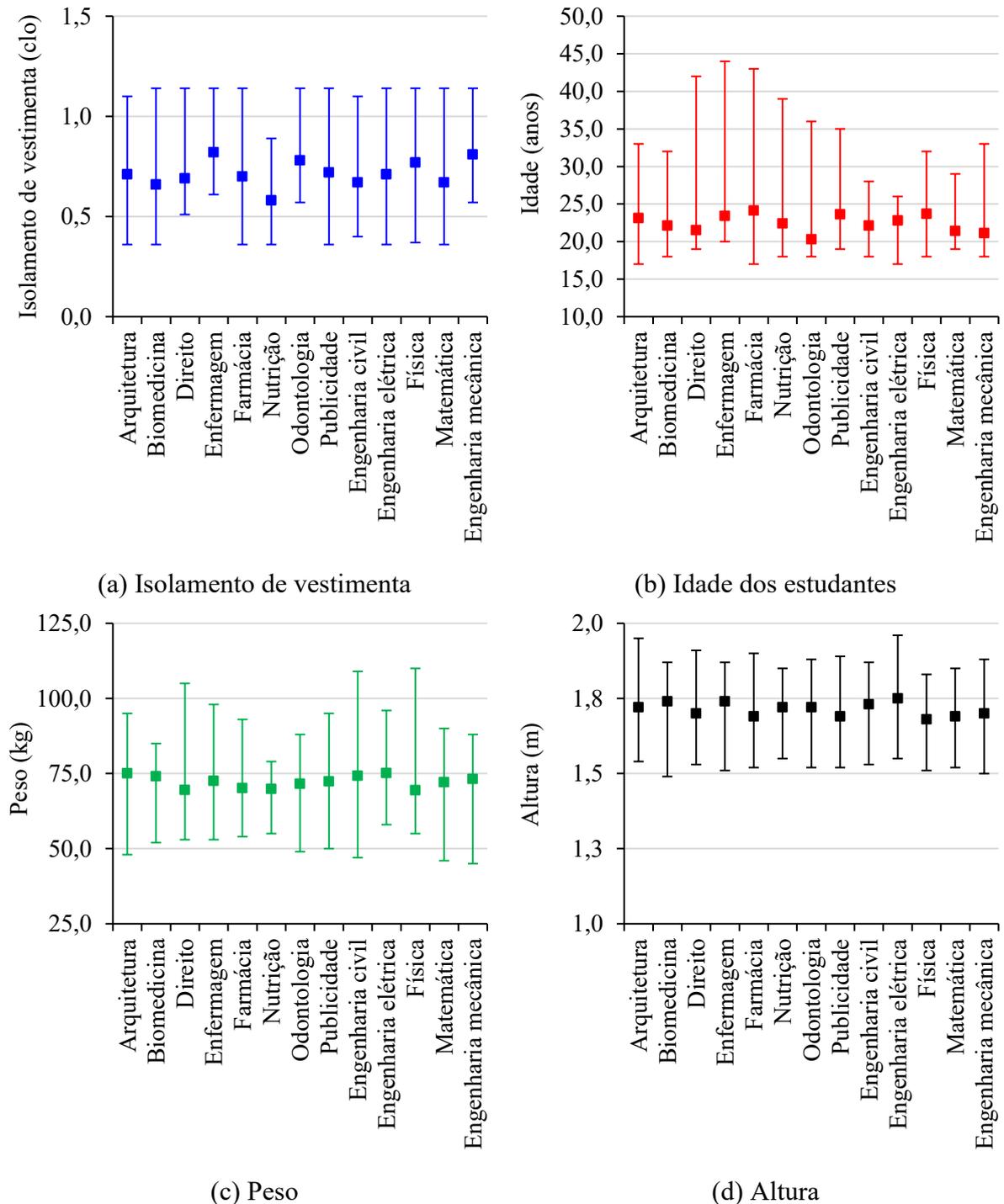
A Tabela 1 mostra os valores médios das variáveis pessoais para os estudantes avaliados, separados por curso de graduação. A taxa metabólica de 1,2 met representa a atividade sedentária dos estudantes assistindo às aulas, pois o estudo de campo foi desenvolvido apenas em aulas convencionais com o professor ministrando o conteúdo de forma expositiva.

Tabela 1 - Perfil dos estudantes avaliados.

Cidade	Curso	Taxa metabólica média (met)	Isolamento de vestimenta médio (clo)	Média de idade (anos)	Peso corporal médio (kg)	Altura média (m)	nº de homens	nº de mulheres
Joinville	Eng. Civil	1,20	0,67	22,1	74,2	1,73	140	114
	Eng. Elétrica	1,20	0,71	22,8	75,1	1,75	129	73
	Física	1,20	0,77	23,7	69,4	1,68	39	33
	Matemática	1,20	0,67	21,4	72,1	1,69	31	37
	Eng. Mecânica	1,20	0,81	21,1	73,2	1,70	113	67
São José	Arquitetura	1,20	0,71	23,1	75,0	1,72	43	146
	Biomedicina	1,20	0,66	22,1	74,1	1,74	28	50
	Direito	1,20	0,69	21,5	69,5	1,70	115	130
	Enfermagem	1,20	0,82	23,4	72,5	1,74	57	111
	Farmácia	1,20	0,70	24,1	70,1	1,69	73	104
	Nutrição	1,20	0,58	22,4	69,9	1,72	57	145
	Odontologia	1,20	0,78	20,3	71,6	1,72	40	36
	Publicidade	1,20	0,72	23,6	72,4	1,69	59	64

A Figura 30 mostra os valores mínimos, médios e máximos para o isolamento de vestimenta (Figura 30 (a)), a idade (Figura 30 (b)), o peso (Figura 30 (c)) e a altura (Figura 30 (d)) da amostra de estudantes objeto deste estudo, agrupados por curso de graduação. De acordo com a Figura 30 (a) é possível notar que estudantes de diferentes cursos de graduação se vestiam de formas diferentes. O isolamento médio de vestimenta dos estudantes de enfermagem, engenharia mecânica e odontologia foram os maiores, 0,82 clo, 0,81 clo e 0,78 clo, respectivamente. Isso pode ser explicado pelo fato de que a maioria dos estudantes destes cursos fazem uso de calças e sapatos fechados mesmo nas aulas teóricas. No caso dos estudantes de enfermagem e odontologia, é comum o uso de calças e sapatos fechados, pois eles frequentam a clínica-escola durante o dia, local onde é obrigatório o uso deste tipo de vestimenta. No caso dos estudantes de engenharia mecânica, muitos acabam frequentando as aulas com a mesma roupa do trabalho nas indústrias localizadas próximas à universidade, o que pode explicar o uso predominante de calças e sapatos fechados por estes alunos. Os grupos de estudantes que tiveram os maiores valores de isolamento médio de vestimenta também apresentaram os menores intervalos entre o mínimo e o máximo isolamento de vestimenta indicando que os estudantes se vestiam de forma mais similar uns aos outros. Isso pode ser explicado pois, apesar de não existirem códigos oficiais de vestimenta, é comum os estudantes se vestirem de acordo com a expectativa das suas atividades curriculares. Os estudantes do curso de direito costumam frequentar as suas aulas com blazers, por exemplo. Esses trajes (chamados de trajes forenses) também são fundamentais para acesso aos fóruns, por exemplo. No caso do curso de direito, o menor isolamento de vestimenta observado foi de 0,51 clo. Entre outros cursos, há isolamentos de vestimentas menores, 0,36 clo, por exemplo, que se refere a uma combinação típica do verão de shorts e camisa de manga curta. Esse tipo de vestimenta não foi observado entre estudantes dos cursos de direito e odontologia, por exemplo.

Figura 30 – Mínimo, máximo e média das variáveis pessoais da amostra de estudantes agrupada por curso de graduação.



Pellegrino, Simonetti e Fournier (2012) realizaram estudo de campo em salas de aula universitárias da Índia e constataram que o isolamento médio de vestimenta dos estudantes era de 0,50 clo. Os valores médios do isolamento de vestimenta obtidos neste estudo são ligeiramente maiores do que os valores comuns para clima tropical úmido (Aryal *et al.*, 2022;

Pellegrino; Simonetti; Fournier, 2012). Apesar de os levantamentos de campo ocorrerem ao longo de um ano, o recesso acadêmico ocorre durante o verão fazendo com que poucos levantamentos de campo tenham sido realizados nesta estação. A idade dos estudantes variou entre 17 anos e 44 anos. Na Figura 30 (b) é possível perceber que, apesar de alguns estudantes terem idades maiores: 44 anos (enfermagem); 43 anos (farmácia) e 39 anos (nutrição), a média de idade dos estudantes de todos os cursos foi de 22 anos. Curiosamente, a idade dos estudantes de Joinville (engenharias, física e matemática) apresentou menores intervalos entre idade mínima e máxima. A Figura 30 (c) mostra o peso médio dos estudantes agrupados por curso de graduação. A média do peso dos estudantes era similar entre os cursos. No entanto, por se tratar de uma característica individual e influenciada por diversos fatores, é possível perceber que, em quase todos os cursos, há uma extensa faixa de variação entre pesos mínimos e máximos dos estudantes que variou de 45kg a 110kg. É importante destacar que o peso dos estudantes não foi medido, o valor foi obtido a partir das respostas subjetivas nos questionários. Diferentemente do que ocorre no peso dos estudantes, a altura média entre os estudantes foi similar entre os diferentes cursos de graduação. Além disso, a faixa de variação entre os valores mínimos e máximos foi mais estreita. As alturas dos estudantes variaram entre 1,50m (engenharia mecânica) e 1,96 (engenharia elétrica).

A Figura 31 mostra os mínimos, máximos e médias do isolamento de vestimenta de acordo com o gênero dos estudantes categorizados por curso de graduação. Na maioria dos casos, o isolamento de vestimenta médio das mulheres foi maior do que o dos homens assim como relatado em diversos outros estudos realizados na Índia (Aryal *et al.*, 2022; Thapa, 2021), na Itália (Nico; Liuzzi; Stefanizzi, 2015), na Escócia e na Inglaterra (Jowkar *et al.*, 2020b) e no Brasil (Barbosa *et al.*, 2024). No entanto, na Índia, Thapa (2019) concluiu que o isolamento de vestimenta médio das mulheres era superior ao dos homens, assim como ocorreu neste estudo para os cursos de arquitetura, biomedicina, odontologia e publicidade.

A Figura 32 mostra a comparação dos valores mínimos, máximos e médios da idade entre os gêneros dos estudantes agrupados por curso de graduação. Observa-se que a média de idade dos estudantes é muito similar entre os diversos cursos e que ocorrem valores máximos de forma pontual. Thapa (2019) comparou o isolamento de vestimenta de estudantes universitários considerados jovens (menos de 30 anos) e de meia idade (30 a 50 anos) e concluíram que não havia diferenças significativas na forma como eles se vestiam para assistir às aulas.

Figura 31 - Mínimo, máximo e média do isolamento de vestimenta da amostra de estudantes agrupada por curso de graduação e gênero.

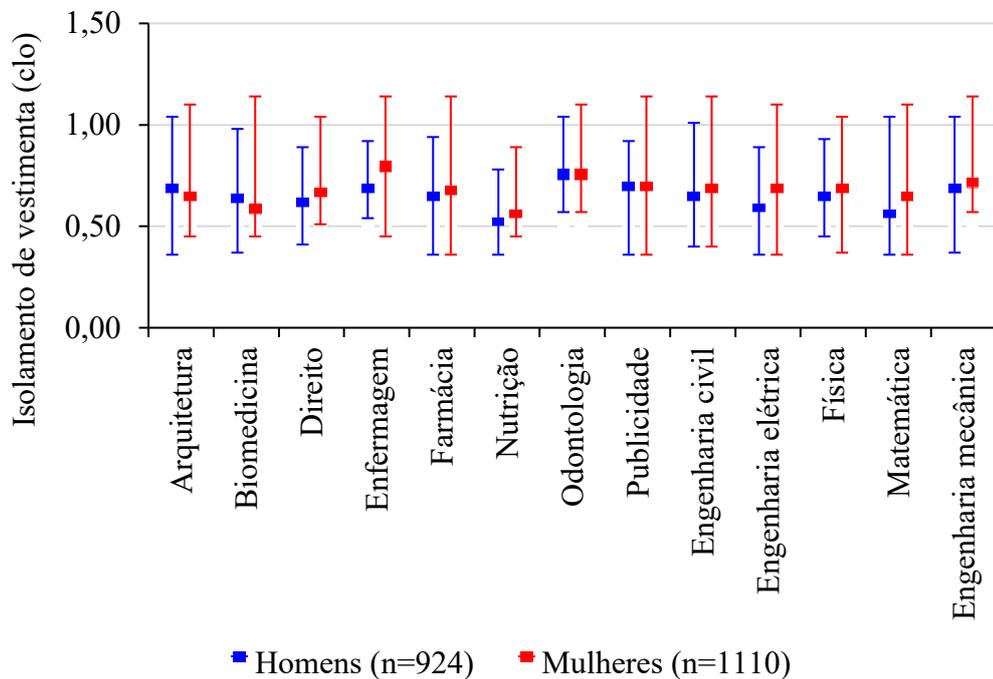
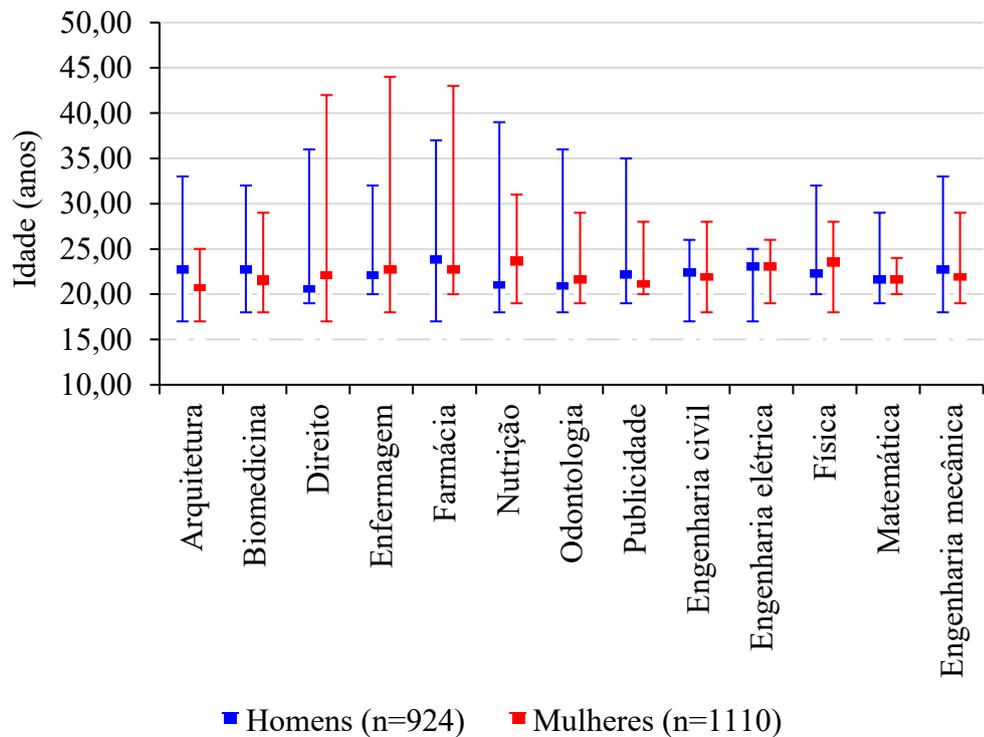


Figura 32 - Mínimo, máximo e média da idade da amostra de estudantes agrupada por curso de graduação e gênero.



As Figuras 33 e 34 mostram os mínimos, máximos e médias do peso e da altura dos estudantes, respectivamente, separados por curso de graduação e por gênero. É possível perceber que o peso e a altura dos estudantes homens, em média, são maiores do que das

mulheres, evidenciando as diferenças fisiológicas entre os gêneros como abordado por outros autores (Gao *et al.*, 2023; Iyoho; Ng; Macfadden, 2017).

Figura 33 - Mínimo, máximo e média do peso da amostra de estudantes agrupada por curso de graduação e gênero.

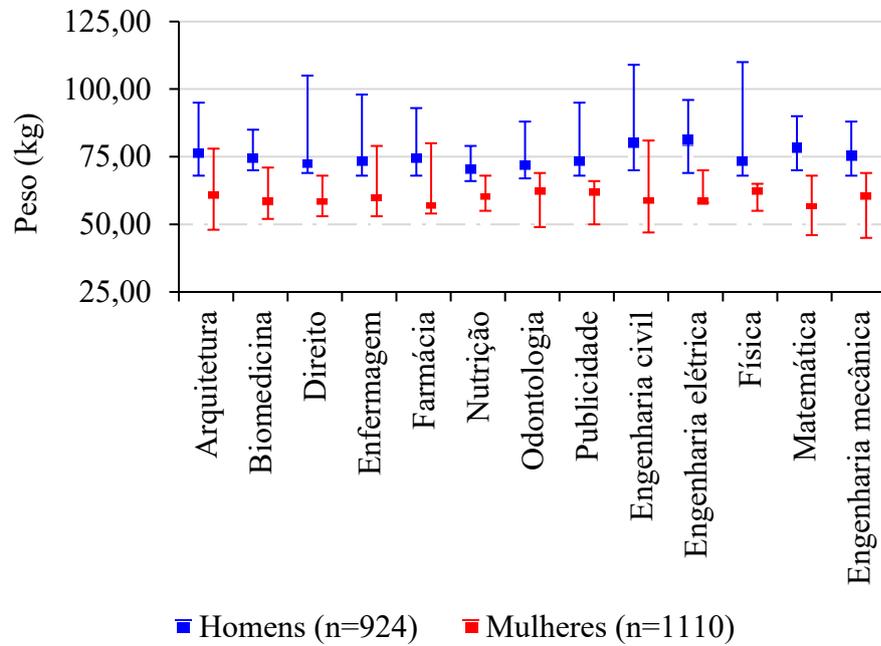
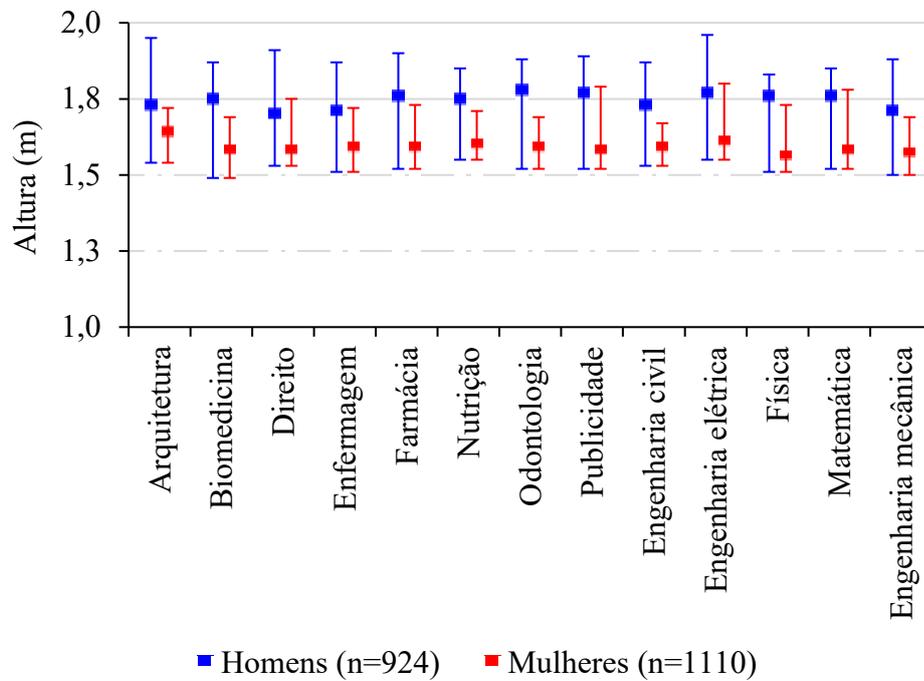


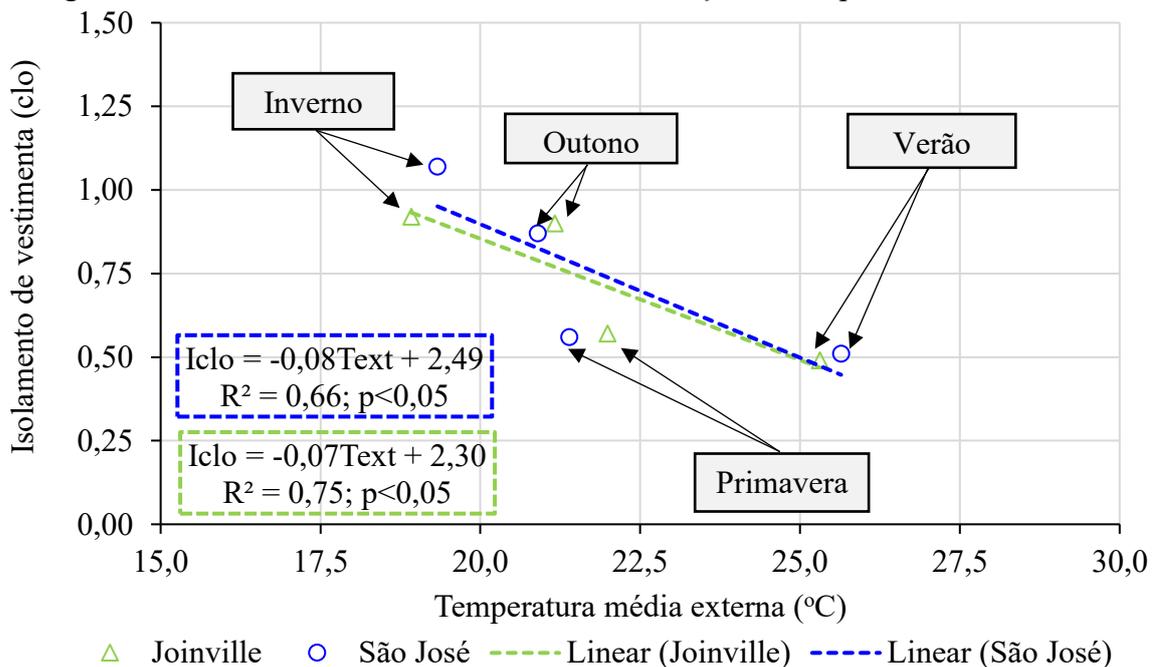
Figura 34 - Mínimo, máximo e média da altura da amostra de estudantes agrupada por curso de graduação e gênero.



4.2 Isolamento de vestimenta

A Figura 35 mostra o isolamento de vestimenta médio em função das temperaturas externas obtidas neste estudo em cada estação. Em Joinville, a temperatura externa teve mais influência sobre o isolamento de vestimenta do que em São José. Apesar disso, os valores de isolamento de vestimenta foram muito similares nas duas cidades. Para as duas cidades, o isolamento de vestimenta apresentou função linear decrescente (coeficiente angular negativo), ou seja, o aumento da temperatura fez com que o isolamento de vestimenta dos estudantes diminuísse. Em salas de aula na Índia, foram relatados isolamentos de vestimenta médios ao longo do ano de 0,88 (Thapa, 2019) e de 1,05 no inverno (Thapa, 2021). Jowkar *et al.* (2020b) realizaram um estudo de conforto térmico em salas de aula de duas universidades (uma na Inglaterra e a outra na Escócia). Os autores encontraram isolamentos médios de vestimenta de 0,90 na Inglaterra e 0,80 na Escócia.

Figura 35 – Isolamento médio de vestimenta em função da temperatura do ar externo.

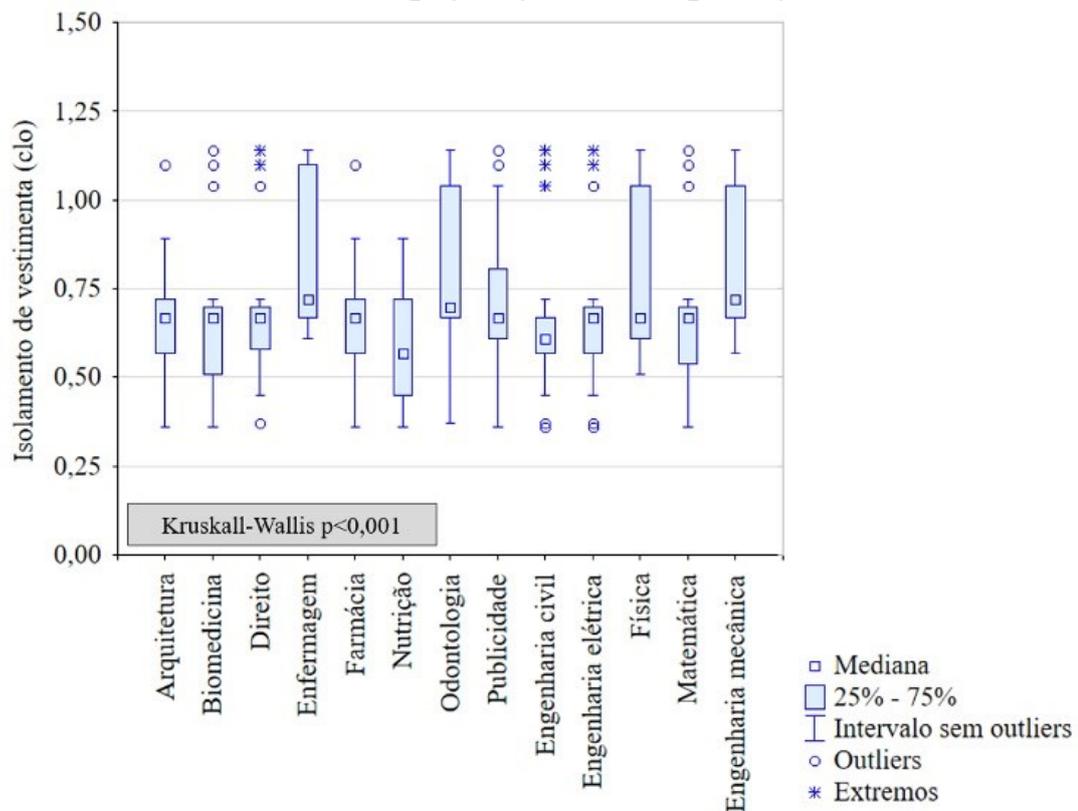


Neste estudo, durante o inverno, os isolamentos médios de vestimenta foram de 0,98 (Joinville) e 1,07 (São José). Apesar do sul do Brasil, Inglaterra e Escócia integrarem o mesmo grupo de classificação climática (Grupo C), o clima dos países europeus é classificado como Cfc enquanto o sul do Brasil possui classificação Cfa. A temperatura externa durante o estudo de campo de Jowkar *et al.* (2020b) variou entre 1,0°C e 15,0°C. Neste estudo, a temperatura externa variou entre 9,0°C e 22,1°C. Apesar de temperaturas externas maiores, o isolamento

médio de vestimenta dos estudantes nas salas de aula brasileiras foi maior quando comparado aos estudantes nas salas de aula escocesas e inglesas. O isolamento médio de vestimenta maior pode ser explicado pelo fato das salas de aula do estudo de Jowkar *et al.* (2020b) possuírem aquecimento central e pela adaptação ao clima como relatado por Lamberti *et al.* (2023) e Havenith *et al.* (2020).

A Figura 36 mostra a variação do isolamento de vestimenta para os estudantes de cada curso de graduação em torno da mediana. O teste de Kruskal-Wallis confirmou que há diferenças significativas na forma como os estudantes se vestem. Esse resultado, no entanto, não pode ser indicativo de que as diferenças entre os isolamentos de vestimenta são causadas pelo curso de graduação ao qual o estudante pertence. O teste mostrado na Figura 36 confirma a necessidade de avaliar um conjunto amostral de estudantes submetidos a condições ambientais e pessoais similares para verificar se existem diferenças na sensação térmica entre os diferentes aspectos socioeconômicos (isso é discutido na subseção 4.7).

Figura 36 – Teste de Kruskal-Wallis para o isolamento de vestimenta da amostra de estudantes agrupada por curso de graduação.



4.3 Modelo PMV/PPD

As Figuras 37 e 38 mostram os votos médios de sensação térmica dos estudantes e o percentual de insatisfeitos comparados com o modelo PMV/PPD. Cada ponto nas Figuras 37 e 38 representa um levantamento do estudo de campo. Cada levantamento do estudo de campo se refere ao conjunto de medições das variáveis ambientais e coleta das respostas subjetivas durante uma aula de uma determinada turma. Como foram usadas duas estações microclimáticas, foi possível realizar mais de um levantamento no mesmo dia. De maneira geral, o modelo PMV/PPD não foi capaz de prever adequadamente o conforto térmico dos estudantes e isso também foi relatado em outros estudos (Aguilar *et al.*, 2022; Barbosa *et al.*, 2024; Cao *et al.*, 2011; Lu *et al.*, 2018; Papadopoulos; Panaras; Tolis, 2020). Na Figura 37 (a) são mostrados os votos médios de sensação térmica do estudo de campo realizado na cidade de Joinville durante a primavera para as salas de aula funcionando com ar-condicionado e ventilação natural. É possível perceber que, durante a primavera, o modelo PMV/PPD subestimou o percentual de insatisfeitos na maior parte dos levantamentos de campo (pontos acima da linha que representa o modelo de Fanger). Em alguns levantamentos de campo que ocorreram com as salas de aula funcionando com ar-condicionado, os estudantes relataram desconforto por calor ($TSV > 1,0$); isso ocorreu nos dias excessivamente quentes registrados no ano de 2022, com temperatura média predominante do ar externo maior do que 30°C. Nessa ocasião, foi constatado que os aparelhos de ar-condicionado das salas de aula não conseguiram reduzir adequadamente a temperatura do ambiente. Barbosa *et al.* (2024) realizaram um estudo de conforto térmico em duas salas de aula da UNICAMP e constataram que, em alguns estudos, os aparelhos de ar-condicionado não foram capazes de garantir conforto térmico para a maioria dos estudantes. Os autores afirmam que a capacidade inadequada dos aparelhos de ar-condicionado pode explicar essa situação. Apesar de possuírem modo de aquecimento, os aparelhos de ar-condicionado não eram utilizados para aquecimento durante o inverno.

Na Figura 37 (b) são mostrados os votos médios de sensação térmica dos estudantes de Joinville durante o verão. Na maioria dos casos mostrados na Figura 37 (b), novamente o modelo PMV/PPD subestimou o percentual de insatisfeitos. Durante o verão, todos os levantamentos de campo foram desenvolvidos com as salas de aula funcionando com ar-condicionado. É importante destacar que os estudantes e professores tinham liberdade para executar quaisquer ações adaptativas durante os levantamentos de campo. Em geral as ações adaptativas ambientais (abertura de janelas e acionamento do ar-condicionado) eram realizadas em acordo com a turma. Era comum que os estudantes solicitassem o acionamento do ar-

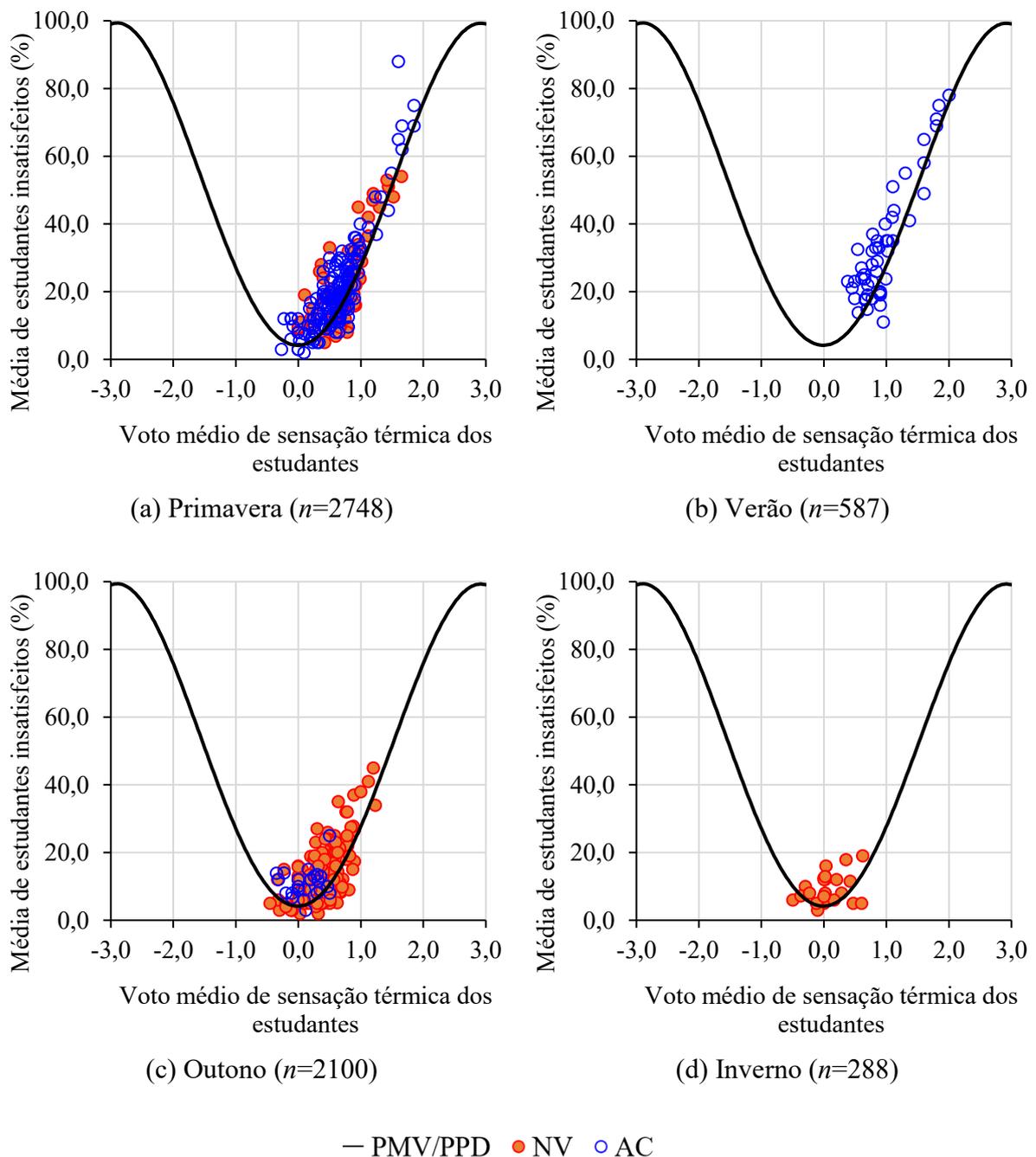
condicionado ao professor nos dias quentes. No verão, os levantamentos de campo aconteceram no mês de março de 2023 quando a média das temperaturas externas era de 26,1°C. A menor temperatura externa registrada nesse período foi de 24,1°C. As temperaturas externas mais altas podem explicar a preferência dos estudantes pelo uso do ar-condicionado. Além disso, como a maior parte do verão acontece durante o recesso acadêmico, o número de levantamentos de campo nessa estação foi menor.

Na Figura 37 (c) são mostrados os votos médios de sensação térmica dos estudantes de Joinville durante o outono. A maior parte dos levantamentos de campo que teve o voto médio de sensação térmica superestimado pelo modelo PMV/PPD ocorreu quando as salas de aula estavam funcionando com ventilação natural. É possível observar também que em diversos estudos com voto médio de sensação térmica entre 0,0 e 1,0 o percentual de insatisfeitos era menor do que 10%, o que indica que o modelo PMV/PPD para estes casos superestima o percentual de insatisfeitos. Isso pode ser explicado pelo fato de que os estudantes tinham diversas possibilidades adaptativas, especialmente em relação ao ajuste da vestimenta. As duas universidades não possuíam códigos específicos de vestimenta (como uniformes), exceto para alguns grupos de estudantes, conforme será discutido na subseção 4.6. Na Figura 37 (c) é possível notar também que percentuais de insatisfeitos menores do que 5% foram obtidos para diferentes valores de votos médios de sensação térmica (de -0,45 a +0,62); o que pode ser consequência da interpretação individual dos estudantes quando responderam ao questionário. Os estudantes podem, por exemplo, perceber o “leve desconforto por calor” (TSV = +1,0) de formas diferentes.

Na Figura 37(d) são mostrados os votos médios de sensação térmica dos estudantes de Joinville no inverno. Em todos os levantamentos realizados durante o inverno, o percentual de insatisfeitos foi menor do que 20%. A média dos votos de sensação térmica durante o inverno foi de +0,06, com desvio padrão de 1,02. No estudo desenvolvido por Lamberti *et al.* (2023), para salas de aula universitárias da França durante o inverno (classificação climática Cfb assim como Joinville e São José), o voto médio de sensação térmica dos estudantes foi de +0,21 com desvio padrão de 1,13. No estudo desenvolvido por Lamberti *et al.* (2023), a temperatura predominante do ar externo era de 7,3°C, mas neste estudo, durante o inverno a temperatura média predominante do ar externo foi de 16,7°C. No entanto, como se pode verificar na Figura 37 (d), durante o inverno, as salas de aula de Joinville funcionaram com ventilação natural, já as salas de aula francesas, estudadas por Lamberti *et al.* (2023), funcionavam com aquecimento com temperatura operativa média de 21,6°C. Durante os meses de inverno, a temperatura operativa média das salas de aula de Joinville era de 20,8°C, o que pode explicar o voto médio

de sensação térmica ligeiramente menor dos estudantes de Joinville em relação ao voto dos estudantes franceses. Durante o inverno, em todos os levantamentos de campo realizados as salas funcionavam com ventilação natural e os percentuais de insatisfeitos foram menores do que 20%; este resultado é consistente com os obtidos por Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) em salas de aula universitárias de Quito. Os autores relataram elevados níveis de conforto térmico dos estudantes mesmo com temperaturas externas mais baixas.

Figura 37 - Voto médio de sensação térmica dos estudantes comparado ao modelo PMV/PPD na cidade de Joinville.



As Tabelas 2 e 3 mostram os percentuais dos estudantes que relataram conforto térmico de acordo com as faixas de votos de sensação térmica para as salas de aula operando com ventilação natural e com ar-condicionado, respectivamente. Há situações que não há levantamentos de campo, pois os estudantes e professores operavam as condições das salas de aula (ar-condicionado ou ventilação natural) independente do levantamento de campo estar sendo desenvolvido. Por exemplo, não houve salas de aula ventiladas naturalmente durante o verão e por isso não há indicação de levantamentos de campo nestas condições. Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) mostraram que 78,0% dos estudantes que votaram neutro na escala de sensação térmica (TSV=0) sentiam-se confortáveis termicamente nas salas de aula ventiladas naturalmente em Quito, no Equador. No mesmo estudo, nas salas de aula climatizadas da cidade de Tena, no Equador, os autores demonstraram que 100,0% dos estudantes responderam estar confortáveis quando votaram “neutro” na escala de sensação térmica.

Tabela 2 – Percentual de estudantes que relataram “conforto” das salas de aula de Joinville operando com ventilação natural.

Faixa do TSV	Estação	<i>n</i>	Confortável (%)
-0,5 a +0,5	Primavera	457	88,4
	Verão	*	*
	Outono	632	89,6
	Inverno	34	97,0
-1,0 a +1,0	Primavera	651	84,5
	Verão	*	*
	Outono	721	88,4
	Inverno	68	92,0

* Não houve levantamentos de campo nessas condições.

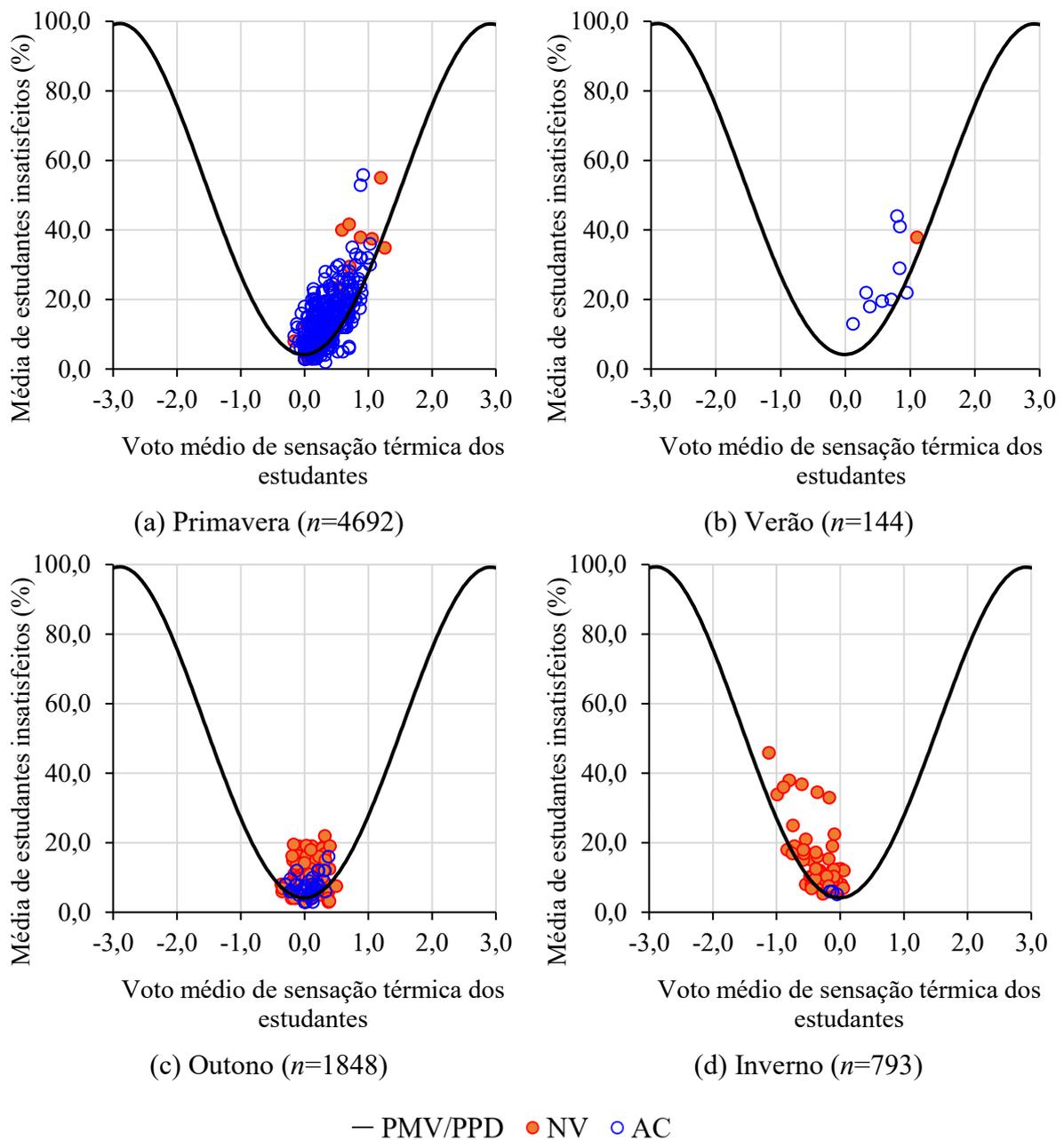
Tabela 3 – Percentual de estudantes que relataram “conforto” das salas de aula de Joinville operando com ar-condicionado.

Faixa do TSV	Estação	<i>n</i>	Confortável (%)
-0,5 a +0,5	Primavera	389	81,8
	Verão	164	75,8
	Outono	121	83,2
	Inverno	*	*
-1,0 a +1,0	Primavera	531	79,5
	Verão	227	71,7
	Outono	240	75,5
	Inverno	*	*

* Não houve levantamentos de campo nessas condições.

A Figura 38 (a) mostra o voto médio de sensação térmica dos estudantes para os levantamentos de campo que foram realizados em São José durante a primavera. Assim como em Joinville, durante a primavera a maior parte dos levantamentos ocorreu com as salas de aula funcionando com ar-condicionado. Também é possível perceber que na maioria dos levantamentos de campo realizados o percentual de insatisfeitos era menor do que 20% para votos médios de sensação térmica de $-0,13$ a $+0,87$.

Figura 38 - Voto médio de sensação térmica dos estudantes comparado ao modelo PMV/PPD na cidade de São José.



Como nos outros casos, o modelo PMV/PPD subestimou o percentual de insatisfeitos na maioria dos levantamentos de campo. O modelo de Fanger foi elaborado a partir de estudos desenvolvidos em câmaras climáticas o que explica a diferença entre o modelo PMV/PPD e os resultados obtidos neste estudo. Durante a primavera, a média dos votos de sensação térmica dos estudantes de São José foi de +0,35 com desvio padrão de 1,11. Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) realizaram um estudo de campo de conforto térmico em salas de aula universitárias em Quito, no Equador (classificação climática Cfb). As salas de aula funcionavam com ventilação natural. Os resultados obtidos nesta tese são similares aos de Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021). Na cidade de Quito, os autores relataram que os estudantes possuíam votos médios de sensação térmica de +0,30 e +0,40 com desvios padrões de até 1,20. A temperatura operativa média das salas de aula de São José durante a primavera era de 22,9°C, enquanto no estudo de Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) foi de 23,1°C e 22,2°C para os votos médios de sensação térmica de +0,30 e +0,40, respectivamente. Na Figura 38 (b) são mostrados os votos médios de sensação térmica dos estudantes de São José durante o verão; novamente o modelo PMV/PPD subestimou os votos médios dos estudantes. Neste caso, similar a Joinville, houve apenas um levantamento de campo que ocorreu com as salas de aula funcionando com ventilação natural. Como se pode observar, foram realizados apenas dez levantamentos de campo em São José durante o verão em função do recesso acadêmico.

A Figura 38 (c) mostra os votos médios de sensação térmica dos estudantes de São José durante o outono. Nesta situação, com exceção de um dos levantamentos de campo, os percentuais de insatisfeitos foram menores do que 20% para diversos valores de TSV. É possível perceber que os votos médios de sensação térmica que mais se aproximaram do modelo de Fanger são aqueles que ocorreram com as salas de aula funcionando com ar-condicionado, o que também ocorreu em outros estudos de campo de conforto térmico em salas de aula universitárias (Allab *et al.*, 2017; Barbosa *et al.*, 2024; Buonocore *et al.*, 2020; Fang *et al.*, 2018; Guevara; Soriano; Mino-Rodriguez, 2021; Rodríguez; Coronado; Medina, 2021; Zhang; Li; Ma, 2022); o mesmo pode ser observado na Figura 38 (d) (durante o inverno). Em diversos estudos de campo com as salas de aula funcionando com ventilação natural, o percentual de insatisfeitos foi subestimado pelo modelo PMV/PPD em até 15%. A Figura 38 (d) mostra os votos médios de sensação térmica dos estudantes de São José durante o inverno. Com exceção de alguns estudos de campo, o PMV/PPD novamente subestimou o percentual de insatisfeitos. Durante o inverno em São José, a temperatura média predominante do ar externo foi de 15,4°C com temperatura operativa média de 17,2°C. A média dos votos de sensação térmica dos

estudantes de São José, durante o inverno, foi de -0,33 com desvio padrão de 1,27. No estudo de Lamberti *et al.* (2023), em salas de aula de uma universidade italiana, o voto médio de sensação térmica dos estudantes foi de -0,06 (com desvio padrão de 0,94) enquanto a temperatura operativa média era de 23,2°C. Mesmo a temperatura operativa média das salas de aula de São José sendo 6,0°C menor do que a temperatura operativa média as salas de aula estudadas por Lamberti *et al.* (2023), a diferença entre os votos de sensação térmica dos estudantes de São José e de Pisa (Lamberti *et al.*, 2023) foi de apenas 0,27. Essa pequena diferença no voto de sensação térmica para temperaturas operativas distintas pode ser explicada pelo fato de que no estudo de Lamberti *et al.* (2023) as salas de aula funcionavam com aquecimento fazendo com que a expectativa térmica dos estudantes fosse diferente. Neste estudo, no entanto, durante a maior parte do inverno, as salas de aula funcionavam com ventilação natural. Isso faz com que a temperatura operativa fique mais próxima da temperatura média predominante do ar externo. Como a temperatura externa costuma influenciar a forma como as pessoas se vestem (Gutierrez-Aliaga; Williams, 2016) e os estudantes tinham liberdade para ajustar suas roupas, isso pode ter contribuído para que eles tolerassem temperaturas mais baixas. Além disso, de acordo com Buonocore *et al.* (2019), as pessoas de climas mais quentes (como o tropical e subtropical) tendem a preferir ambientes mais frios, o que pode explicar o resultado obtido neste estudo durante o inverno. As Tabelas 4 e 5 mostram os percentuais dos estudantes que relataram conforto para cada faixa de votos de sensação térmica. O modelo de Fanger sugere que os votos de sensação térmica entre -0,5 e +0,5 estão associados a ambientes com 90% dos usuários satisfeitos; e os votos de sensação térmica entre -1,0 e +1,0 estão associados a ambientes com 80% dos usuários satisfeitos. Neste aspecto, na Tabela 4 é possível verificar que os percentuais na primavera e no outono são ligeiramente maiores do que os percentuais previstos no modelo de Fanger. No verão há uma exceção, e o percentual de insatisfeitos aumenta. A situação relatada pelos estudantes no verão pode estar associada à baixa capacidade dos aparelhos de ar-condicionado das salas de aula, o que é comum em ambientes universitários assim como relatado por Barbosa *et al.* (2024).

Nas salas de aula da cidade de Tena, no Equador, Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) constaram que o percentual de estudantes satisfeitos com o ambiente térmico era maior quando as salas de aula funcionavam com ventilação natural. Curiosamente, neste estudo, com exceção da primavera, o percentual de estudantes satisfeitos era menor durante o funcionamento com ventilação natural (Tabela 4) em comparação com o ar-condicionado (Tabela 5). A diferença entre os resultados deste estudo e os de Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) pode ser explicada pelo fato de que os autores não separaram os votos de sensação térmica por

estação do ano como foi feito nesta pesquisa. Diversos autores relatam que o clima externo influencia a forma como os estudantes se vestem e como percebem o conforto térmico mesmo em ambientes condicionados (Singh *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2021; Torriani *et al.*, 2023; Aguilar *et al.*, 2022).

Tabela 4 – Percentual de estudantes que relataram “conforto” das salas de aula de São José operando com ventilação natural.

Faixa do TSV	Estação	<i>n</i>	Confortável (%)
-0,5 a +0,5	Primavera	983	90,8
	Verão	32	62,1
	Outono	387	93,7
	Inverno	231	88,5
-1,0 a +1,0	Primavera	1230	85,0
	Verão	37	58,7
	Outono	488	91,2
	Inverno	311	83,2

Tabela 5 – Percentual de estudantes que relataram “conforto” das salas de aula de São José operando com ar-condicionado.

Faixa do TSV	Estação	<i>n</i>	Confortável (%)
-0,5 a +0,5	Primavera	1073	88,2
	Verão	78	82,3
	Outono	441	94,8
	Inverno	45	95,4
-1,0 a +1,0	Primavera	1348	86,2
	Verão	90	74,6
	Outono	229	91,7
	Inverno	37	94,2

4.4 Modelo adaptativo

As Figuras 39 e 40 mostram a relação entre a temperatura operativa e a temperatura média predominante do ar externo para os estudantes de Joinville quando as salas de aula estavam funcionando com ventilação natural e ar-condicionado, respectivamente. São mostradas as condições térmicas que foram consideradas aceitáveis ou inaceitáveis pelos estudantes. Também são mostradas as condições de aceitabilidade do modelo de conforto térmico adaptativo proposto pela ASHRAE 55. Isso é mostrado nas Figuras 41 e 42 para São José. É possível perceber que, em diversos levantamentos de campo, as condições térmicas consideradas aceitáveis pelo modelo da ASHRAE 55 não eram consideradas aceitáveis pelos

estudantes assim como ocorreram situações com condições térmicas consideradas aceitáveis pelos estudantes que estavam fora da faixa de aceitabilidade da ASHRAE 55. Aghniaey *et al.* (2019) realizaram um estudo de campo de conforto térmico em salas de aula universitárias dos Estados Unidos. Os autores concluíram, diferentemente do que foi constatado nesta pesquisa, que os níveis de aceitabilidade do ambiente térmico dos estudantes norte americanos eram correspondentes aos níveis de aceitabilidade do modelo proposto pela ASHRAE 55. Por outro lado, Zomorodian, Tahsildoost e Hafezi (2016) realizaram uma revisão de literatura sobre estudos de conforto térmico em salas de aula e concluíram que, na maioria dos estudos de campo, os modelos de conforto térmico não eram consistentes com as respostas dos estudantes.

Inicialmente, pode-se inferir que a diferença entre a aceitabilidade prevista pelo modelo da ASHRAE e a aceitabilidade real dos estudantes desta pesquisa esteja ligada ao fato de que o modelo da ASHRAE foi baseado em estudos de campo de escritórios. No entanto, Rupp e Ghisi (2019) avaliaram o conforto térmico de ocupantes de escritórios brasileiros e, assim como os resultados obtidos nesta pesquisa, constaram diversas condições térmicas que, apesar de estarem na zona de aceitabilidade do modelo da ASHRAE, não eram consideradas aceitáveis por alguns ocupantes.

Fabozzi e Dama (2020) realizaram um estudo de conforto térmico em doze salas de aula universitárias do Politécnico de Milão que eram ventiladas naturalmente. Os autores concluíram que a porcentagem real de insatisfeitos foi prevista adequadamente pelo modelo da ASHRAE em 75% dos casos. No entanto, ao comparar os resultados do estudo de campo com o modelo de conforto térmico adaptativo proposto pela EN-15251 (CEN, 2017), os autores constataram situações consideradas inaceitáveis pelos estudantes, mas que seriam aceitáveis pelo modelo da EN-15251 (CEN, 2017). Mustapha *et al.* (2023) realizaram um estudo de conforto térmico em salas de aula de Abuja (capital da Nigéria) e constaram que em nenhum dos casos os padrões de conforto térmico da ASHRAE eram atendidos, no entanto, 44% dos estudantes relataram que se sentiam confortáveis mesmo nessas condições. Hamzah *et al.* (2016) realizaram um estudo de conforto térmico na Universidade Hasanuddin, na Indonésia. As salas de aula estudadas por Hamzah *et al.* (2016) tinham condições térmicas classificadas como inaceitáveis pelo modelo da ASHRAE, mas foram consideradas aceitáveis pelos estudantes. Também se observa nas Figuras 39 e 40 que, para mesmas condições (temperatura predominante do ar externo e temperatura operativa), há respostas de estudantes que as consideram aceitáveis e inaceitáveis. Isso pode estar relacionado às expectativas térmicas de cada estudante, que podem ser diferentes.

Figura 39 – Comparação entre os votos de sensação térmica dos estudantes com o modelo de conforto térmico adaptativo da ASHRAE para as salas de aula de Joinville operando com ventilação natural.

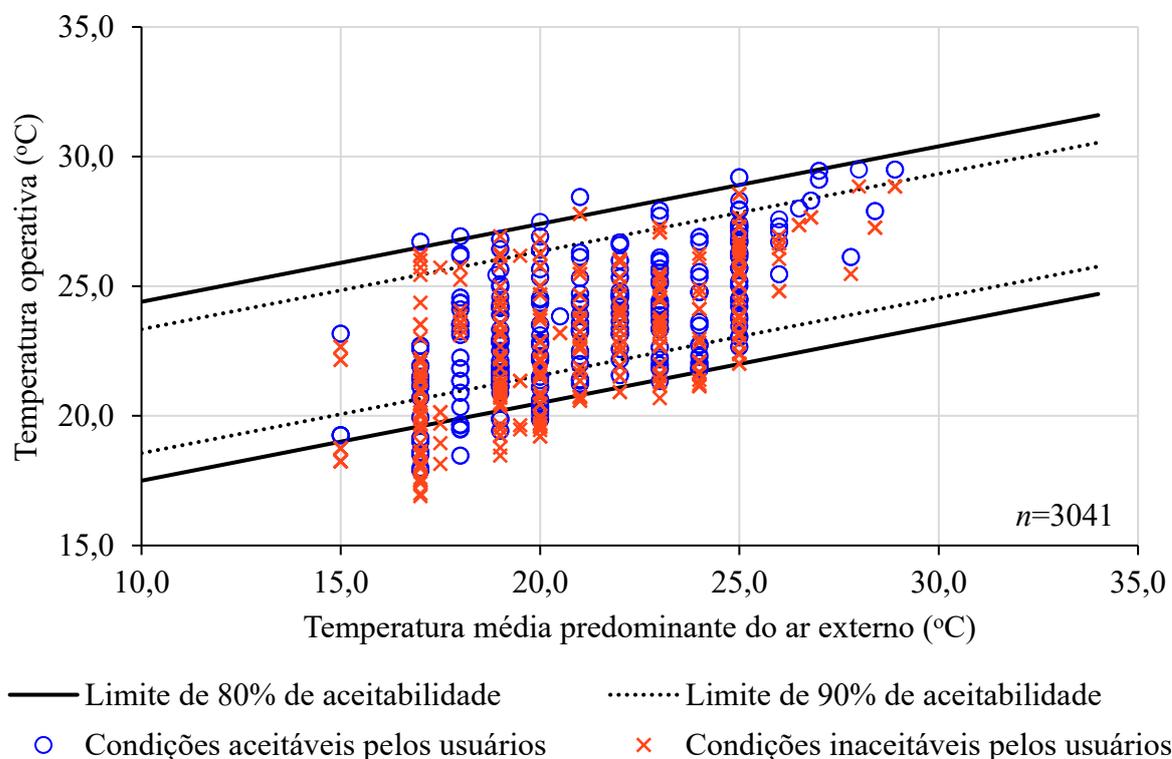


Figura 40 – Comparação entre os votos de sensação térmica dos estudantes com o modelo de conforto térmico adaptativo da ASHRAE para as salas de aula de Joinville operando com ar-condicionado.

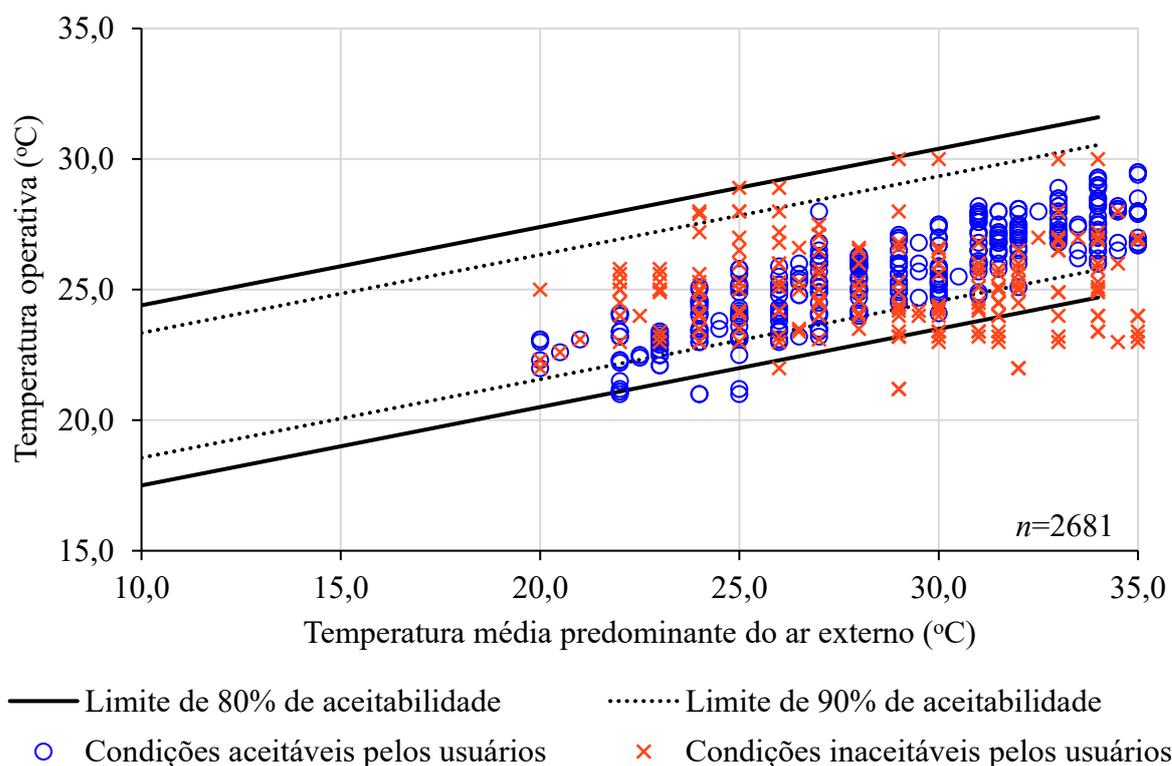


Figura 41 – Comparação entre os votos de sensação térmica dos estudantes com o modelo de conforto térmico adaptativo da ASHRAE para as salas de aula de São José operando com ventilação natural.

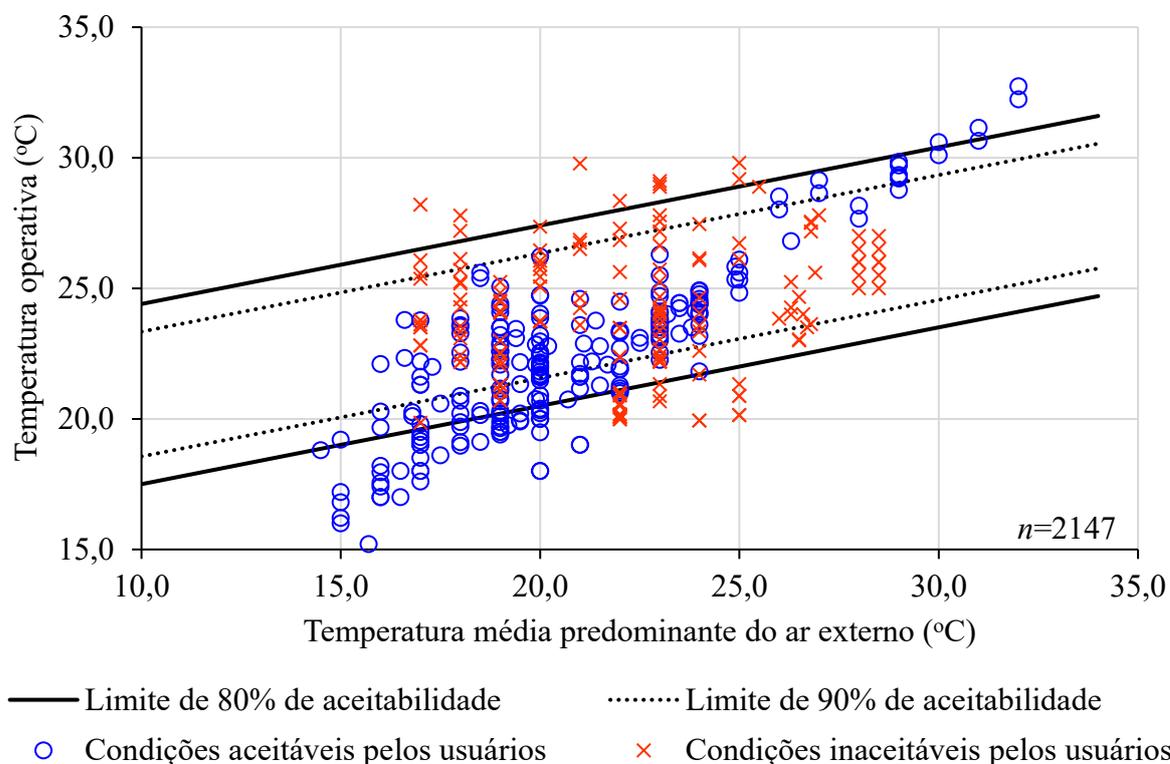
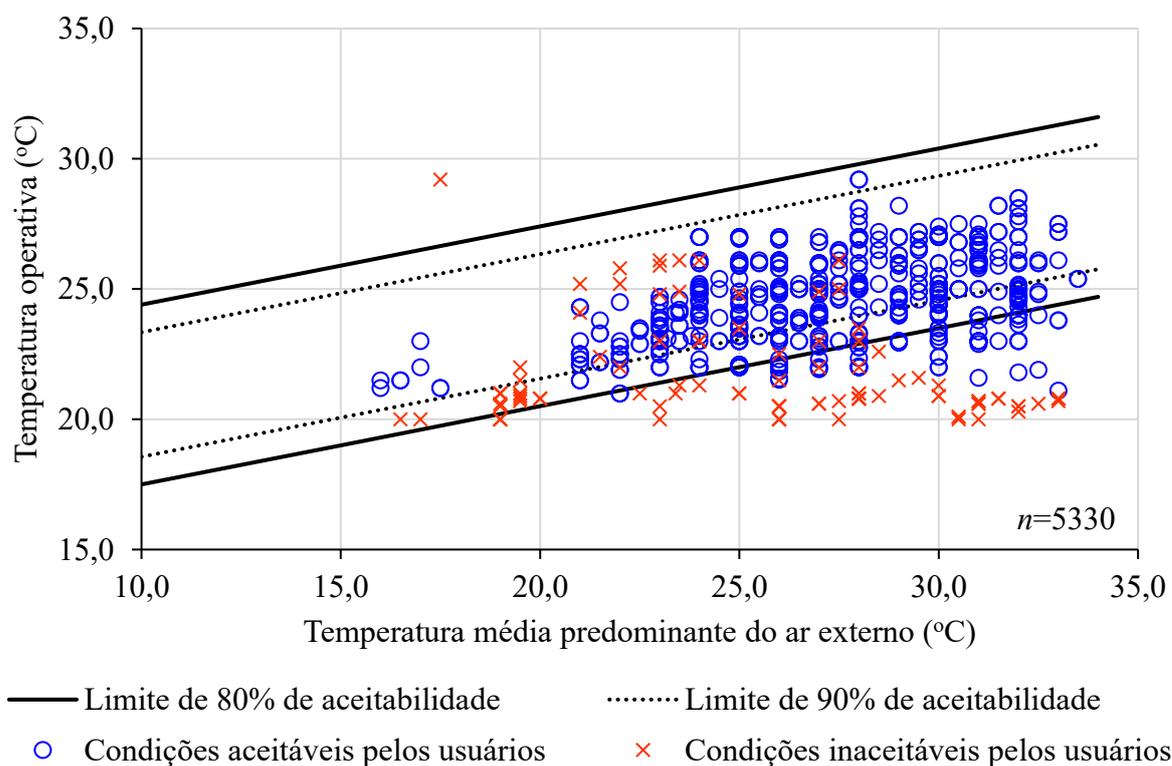


Figura 42 – Comparação entre os votos de sensação térmica dos estudantes com o modelo de conforto térmico adaptativo da ASHRAE para as salas de aula de São José operando com ar-condicionado.



É possível perceber que durante o uso do ar-condicionado, a faixa de operação das salas de aula foi mais estreita do que a faixa de 90%, indicando que as tolerâncias às variações de temperatura eram menores, fato que foi confirmado pelo modelo PMV/PPD. Durante a operação com ventilação natural, 80% dos estudantes aceitavam o ambiente térmico na maioria dos levantamentos de campo, indicando que tinham capacidade de se adaptar ao ambiente. Em São José, em geral, os estudantes estavam menos confortáveis durante os períodos que as salas de aula operavam com ventilação natural, isso também pode estar relacionado ao fato de que as janelas nas salas de aula de São José eram menores do que nas salas de aula de Joinville. As temperaturas operativas médias das salas de aula de Joinville e São José foram de 24,7°C e 23,5°C com desvios padrões de 2,4°C e de 2,2°C, respectivamente. Bueno *et al.* (2023) desenvolveram um estudo de conforto em salas de aula de uma universidade no sul do Brasil. Os autores estimaram a temperatura operativa média de 20,3°C com desvio padrão de 2,7°C. A diferença pode ser explicada pelo fato de Bueno *et al.* (2023) terem desenvolvido o seu estudo somente durante o outono. Além disso, a universidade que foi objeto de estudo de Bueno *et al.* (2023) está localizada em região com clima Cfb que possui, em média, umidade relativa do ar menor do que Joinville e São José. A temperatura do ar máxima registrada durante o estudo de campo de Bueno *et al.* (2023) foi 30,0°C, enquanto neste estudo foi 36,2°C.

A Tabela 6 mostra os percentuais de desconforto por frio e por calor dos estudantes de Joinville e São José, respectivamente. Diferentemente do modelo de Fanger, há assimetria no desconforto por frio e por calor para as duas cidades o que também foi constatado por outros autores (Wang *et al.*, 2023; Hu *et al.*, 2022). A assimetria em torno do conforto térmico (desconforto por frio e calor) é discutida nas subseções 4.5.5 e 4.5.6. Talukdar *et al.* (2020) realizaram um estudo de campo de conforto térmico em salas de aula na Universidade Agrícola de Bangladesh. Diferentemente dos resultados apresentados na Tabela 6, os autores relataram 88,4% de desconforto por calor, nenhum voto indicando desconforto por frio e apenas 11,6% dos votos indicando neutralidade térmica. Os resultados de Talukdar *et al.* (2020), diferentes dos encontrados neste estudo, podem ser explicados pois as salas de aula do estudo desenvolvido em Bangladesh não possuíam ar-condicionado, funcionando sempre com ventilação natural e ventiladores de teto. Além disso, durante o estudo de campo de Talukdar *et al.* (2020) a temperatura média do ar foi 30,9°C, enquanto neste estudo, as temperaturas médias do ar foram 21,7°C em Joinville e 21,4°C em São José. Em um estudo de campo de conforto térmico desenvolvido em salas de aula da Universidade Estadual do Maranhão, Buonocore *et al.* (2020) relataram que o desconforto por calor dos estudantes foi 55,9% e o desconforto por frio foi 2,5% nas salas de aula operando com ventilação natural. O desconforto

por frio encontrado por Buonocore *et al.* (2020) é menor do que os obtidos neste estudo e isso pode estar relacionado ao isolamento de vestimenta dos estudantes do Maranhão que era, em média, 0,39clo. Neste estudo, o isolamento médio dos estudantes foi 0,86clo.

Nas salas de aula que operavam com ar-condicionado, Buonocore *et al.* (2020) relataram 49,5% de desconforto por frio e 7,9% de desconforto por calor. O desconforto por frio encontrado pelos autores pode estar relacionado à forma como os estudantes se vestiam, pois, mesmo com as salas de aula apresentando temperatura operativa mais baixa, o isolamento de vestimenta médio dos estudantes era de 0,43clo. Neste estudo, durante o uso do ar-condicionado, o isolamento de vestimenta médio dos estudantes era de 0,89clo. Essa diferença na forma como os estudantes do Maranhão e deste estudo se vestiam está relacionada às condições ambientais externas. No Maranhão, as temperaturas externas são mais elevadas, influenciando os estudantes a se vestirem com roupas mais leves. Isso refletiu em desconforto por frio nas salas de aula que estavam operando com ar-condicionado. Neste estudo, com exceção de alguns dias que foram mais quentes, as temperaturas operativas das salas de aula durante o uso do ar-condicionado eram mais próximas à temperatura média predominante do ar externo. Isso fez com que os estudantes usassem roupas com isolamento de vestimenta mais adequado para a situação reduzindo o desconforto por frio.

Tabela 6 – Percentual de estudantes de Joinville que relataram “conforto” ou “desconforto” por frio e por calor.

Cidade	Modo de operação	<i>n</i>	Conforto (%)	Desconforto por frio (%)	Desconforto por calor (%)
Joinville	Ventilação natural	2357	84,3	3,8	11,9
	Ar-condicionado	3366	77,7	12,9	9,4
São José	Ventilação natural	3470	84,3	5,0	7,7
	Ar-condicionado	4007	87,3	9,1	4,4

4.5 Desenvolvimento de modelos de conforto térmico para as salas de aula por cidade

Nesta subseção são apresentados e discutidos os modelos de conforto térmico obtidos para as salas de aula. Os modelos de conforto térmico obtidos são mostrados de acordo com o índice de conforto térmico em cada uma das universidades avaliadas e de acordo com o modo de funcionamento das salas de aula.

4.5.1 Sensação térmica

As Figuras 43 e 44 apresentam as regressões lineares entre os votos médios de sensação térmica dos estudantes e a temperatura operativa das salas de aula de Joinville funcionando com ventilação natural e ar-condicionado, respectivamente. Nas duas situações os coeficientes de determinação das retas de regressões foram menores do que 0,60, mas tiveram sua significância comprovada pelo p-valor. Talukdar *et al.* (2020) realizaram um estudo de conforto térmico nas salas de aula da Universidade Agrícola de Bangladesh, localizada na cidade de Mymensingh. As condições do ambiente externo em Mymensingh eram similares às deste estudo, exceto pela umidade relativa média do ar externo ser 10% menor do que em Joinville. Diferentemente dos resultados obtidos neste estudo, Talukdar *et al.* (2020) obtiveram coeficiente de determinação baixo (0,06), porém a significância do modelo foi comprovada pelo p-valor. O coeficiente angular da reta obtida por Talukdar *et al.* (2020), para as salas de aula operando com ventilação natural, foi de 0,14, similar ao deste estudo, assim como a temperatura de neutralidade térmica que foi de 19,3°C. Fang *et al.* (2018) desenvolveram um estudo de conforto térmico em uma sala de aula da Universidade de Hong Kong, que possui clima subtropical úmido, similar ao clima de Joinville, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger. Fang *et al.* (2018) realizaram o estudo de campo em uma sala de aula climatizada e concluíram que a temperatura de neutralidade térmica dos alunos era de 24,2°C, valor que é maior do que o obtido neste estudo. Isso pode ser explicado pois Fang *et al.* (2018) afirmam que os estudantes se vestiam com roupas leves e que o isolamento de vestimenta da maioria dos estudantes era de 0,42 clo. Neste estudo, o isolamento médio de vestimenta dos estudantes foi mais alto, especialmente nas salas de aula que funcionavam com ar-condicionado (0,60 clo).

Por outro lado, na cidade de Guayaquil, no Equador, a temperatura de neutralidade térmica dos estudantes em salas de aula climatizadas, obtida por meio da regressão linear entre o TSV e a temperatura operativa, foi de 26,3°C. Apesar de condições muito similares a este estudo, inclusive de isolamento de vestimenta médio (0,50 clo), a temperatura de neutralidade térmica obtida por Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) foi muito superior à temperatura de neutralidade térmica das salas de aula de Joinville (Figura 44). Possivelmente, essa diferença ocorreu porque o estudo de campo desenvolvido por Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) aconteceu durante um período mais curto; neste caso, o desvio padrão da temperatura externa foi menor (3,2°C), pois todos os levantamentos de campo foram realizados com condições térmicas externas similares. Possivelmente, isso contribuiu para que os alunos

estivessem habituados com as condições do ambiente, fazendo com que a temperatura de neutralidade térmica fosse maior.

Figura 43 – Temperatura de neutralidade térmica dos estudantes de Joinville nas salas de aula operando com ventilação natural.

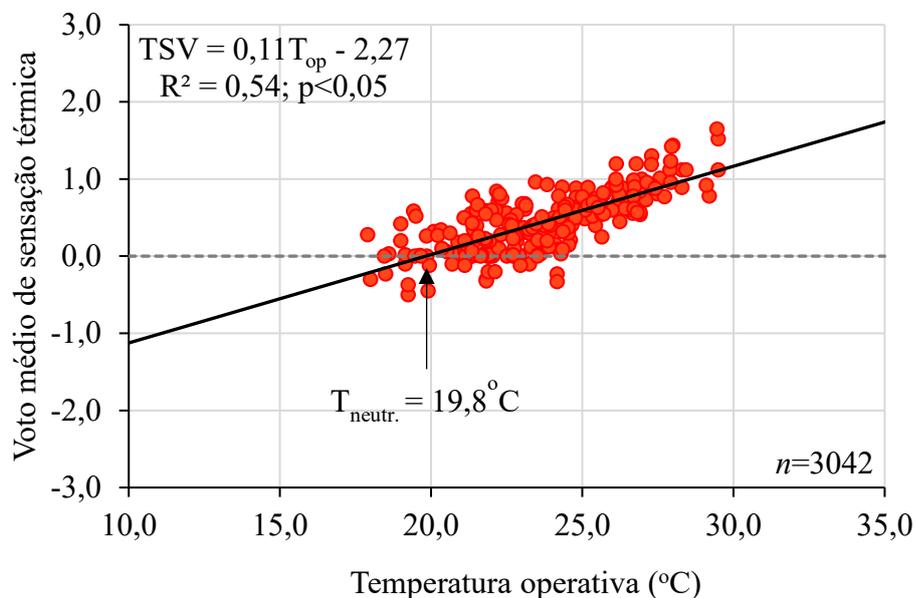
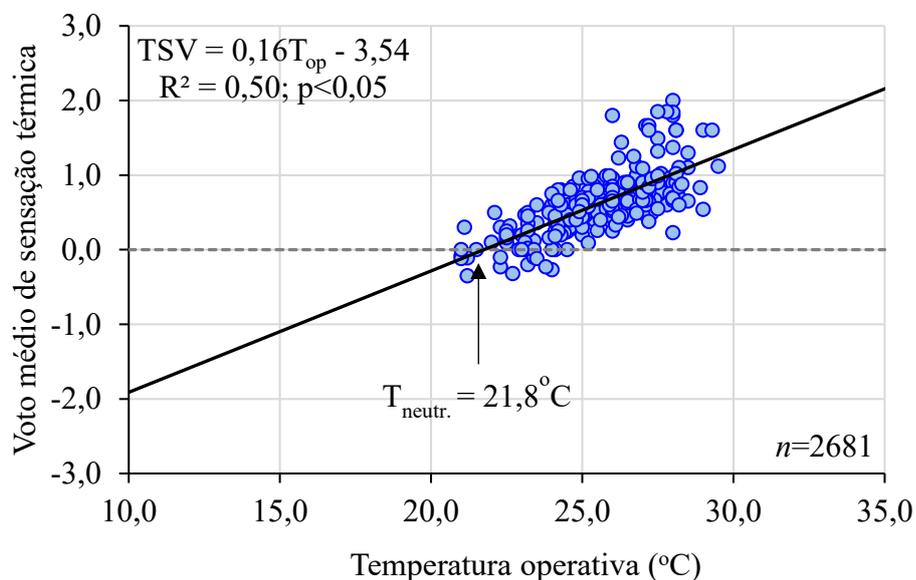


Figura 44 – Temperatura de neutralidade térmica dos estudantes de Joinville nas salas de aula operando com ar-condicionado.



As Figuras 45 e 46 mostram a regressão linear entre o TSV e a temperatura operativa para as salas de aula de São José operando com ventilação natural e ar-condicionado, respectivamente. As temperaturas de neutralidade térmica dos estudantes de São José foram ligeiramente maiores do que as temperaturas de neutralidade térmica dos estudantes de

Joinville. Isso pode ser explicado pelo fato de que o isolamento de vestimenta dos estudantes de São José era ligeiramente maior do que o dos estudantes de Joinville. Na cidade de Quito, no Equador, clima classificado como subtropical de terras altas (Cfb) com temperatura média anual de 15,6°C, Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021) concluíram que a temperatura de neutralidade térmica de estudantes universitários era 22,1°C, que é ligeiramente maior do que as temperaturas de neutralidade térmica obtidas neste estudo para as salas operando com ventilação natural.

Em outros estudos de campo de conforto térmico, desenvolvidos em salas de aula em clima subtropical, as temperaturas de neutralidade térmica foram similares às obtidas neste estudo: 21,5°C (Zhang *et al.*, 2007), 22,8°C (Yao *et al.*, 2010), 22,6°C no inverno e 21,7°C no verão (Wang *et al.*, 2014) na China; 22,3°C no Irã (Haddad; Osmond; King, 2017); 22,5°C na Austrália (Dear *et al.*, 2015) e 24,8°C no nordeste do Brasil (Buonocore *et al.*, 2019). Na Itália, Buratti e Ricciardi (2009) concluíram que a temperatura de neutralidade térmica em salas de aula universitárias operando com ar-condicionado era de 23,0°C. Em salas de aula da Universidade de Granada, na Espanha, a temperatura de neutralidade térmica durante o inverno foi estimada em 23,8°C (Aguilar *et al.*, 2022). Os valores ligeiramente mais altos encontrados na Itália (Buratti; Ricciardi, 2009) e na Espanha (Aguilar *et al.*, 2022) quando comparados aos deste estudo podem ser explicados por diferenças no clima europeu (temperado) e sul do Brasil (subtropical).

Figura 45 – Temperatura de neutralidade térmica dos estudantes de São José nas salas de aula operando com ventilação natural.

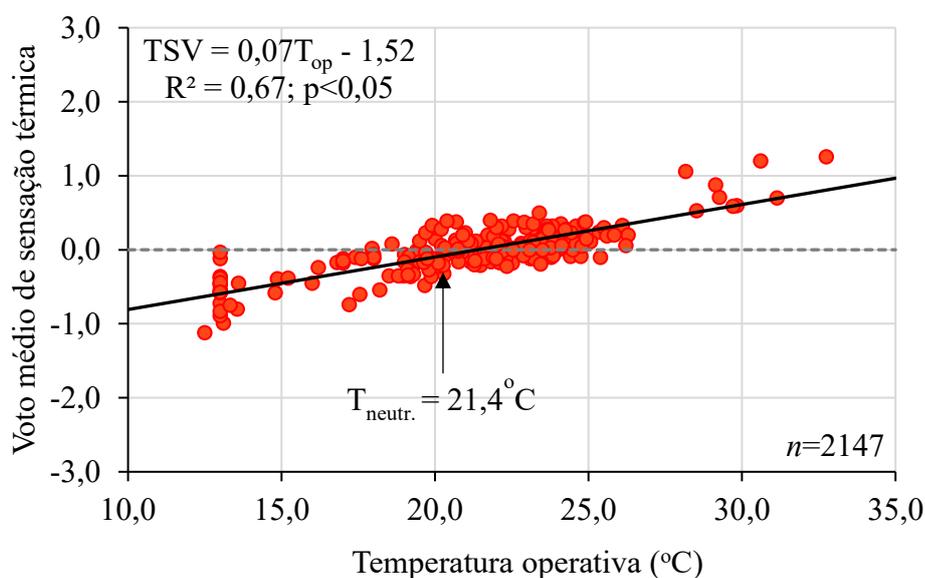
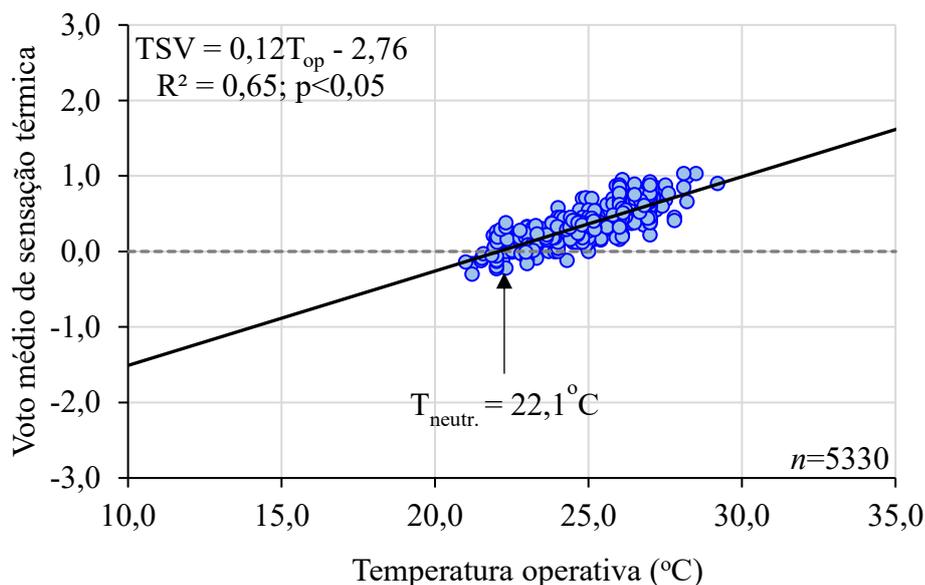


Figura 46 – Temperatura de neutralidade térmica dos estudantes de São José nas salas de aula operando com ar-condicionado.



4.5.2 Preferência térmica

As Figuras 47 a 50 mostram relação entre o voto de preferência térmica dos estudantes (TPV) e a temperatura operativa nas salas de aula de Joinville e São José para funcionamento com ventilação natural e ar-condicionado. Quando as salas estavam operando com ventilação natural, as temperaturas preferidas pelos estudantes de Joinville e São José foram $23,1^\circ\text{C}$ e $23,3^\circ\text{C}$, respectivamente. O coeficiente angular da reta na Figura 47 indica que os estudantes em Joinville tinham mais tendência de preferir o ambiente térmico do jeito que estava. A inclinação da reta indica que, quando as salas de aula eram naturalmente ventiladas, a temperatura operativa influenciava mais a preferência térmica dos estudantes. Além disso, a preferência térmica dos estudantes nas duas universidades era muito similar. As temperaturas preferidas pelos estudantes em Joinville e São José, quando as salas de aula funcionavam com ar-condicionado, eram de $24,0^\circ\text{C}$ e $23,5^\circ\text{C}$. Na Universidade Estadual do Maranhão, Buonocore *et al.* (2020) concluíram que a temperatura preferida pelos estudantes era $21,0^\circ\text{C}$, apesar dessa temperatura ser menor do que a encontrada nesta pesquisa, os autores relataram que para valores próximos a $21,0^\circ\text{C}$ havia tendência de os estudantes responderem que preferiam o ambiente mais quente, ou seja, o desconforto entre os estudantes acontecia por frio. Além disso, no estudo de Buonocore *et al.* (2020) os estudantes usavam roupas típicas de verão, isolamento de vestimenta médio de 0,41. As respostas para os estudantes que consideraram o ambiente neutro ($TSV=0$) não correspondiam exatamente às respostas dos estudantes para permanecer como

estavam (TPV=0). Mesmo quando os estudantes relatavam que o ambiente era termicamente confortável, 19,5% deles preferiam estar mais resfriados, o que é uma tendência em climas tropicais e subtropicais (Buonocore *et al.*, 2020).

Figura 47 – Preferência térmica dos estudantes de Joinville nas salas de aula operando com ventilação natural.

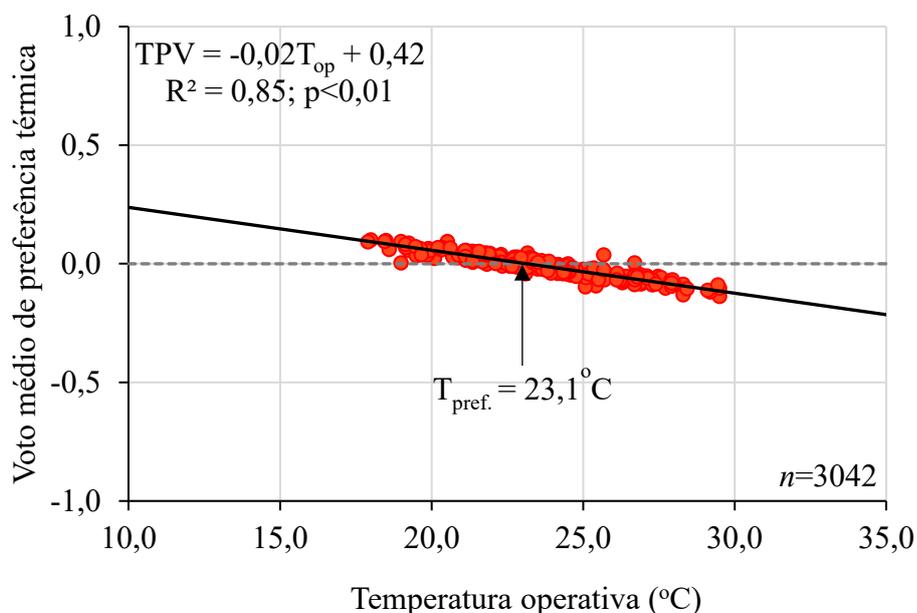


Figura 48 – Preferência térmica dos estudantes de Joinville nas salas de aula operando com ar-condicionado.

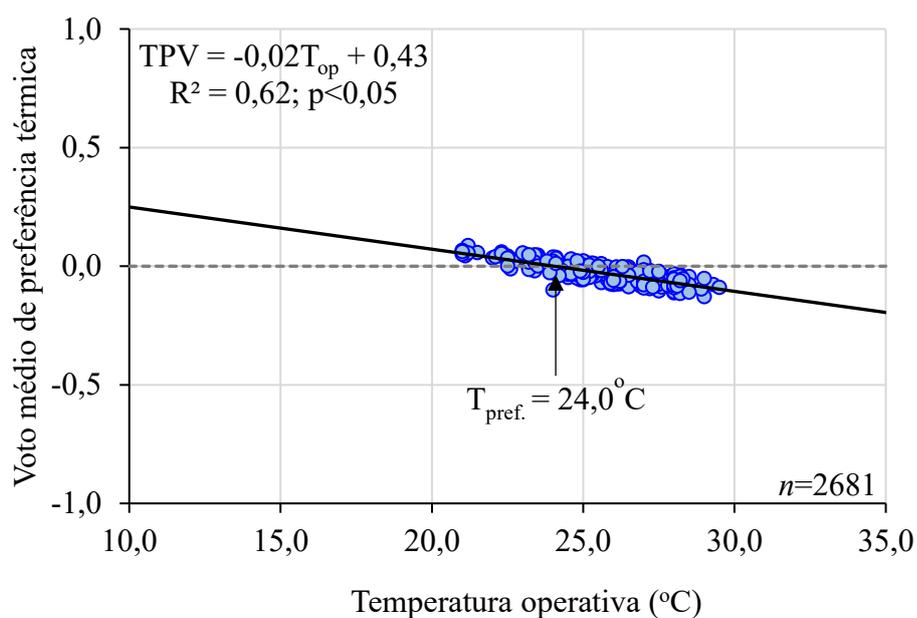


Figura 49 – Preferência térmica dos estudantes de São José nas salas de aula operando com ventilação natural.

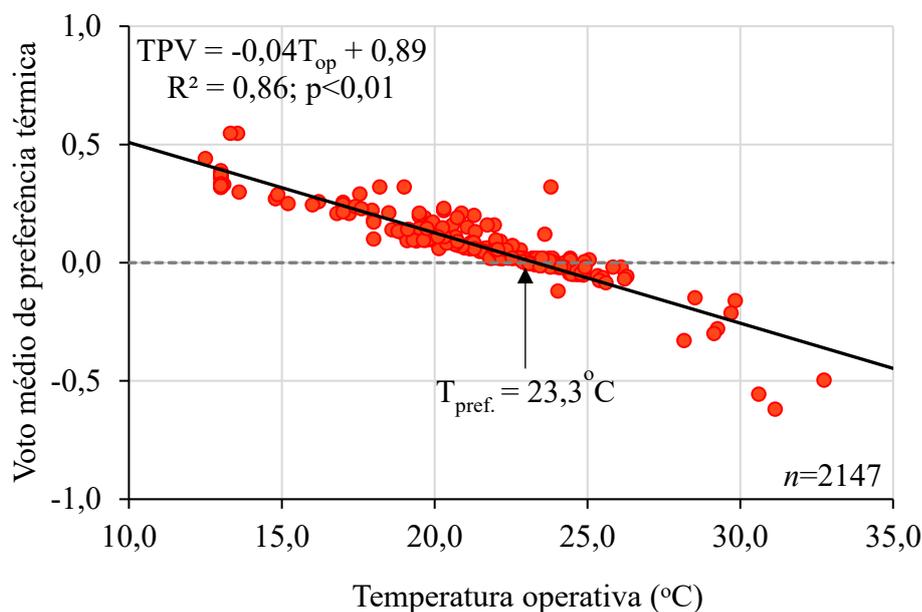
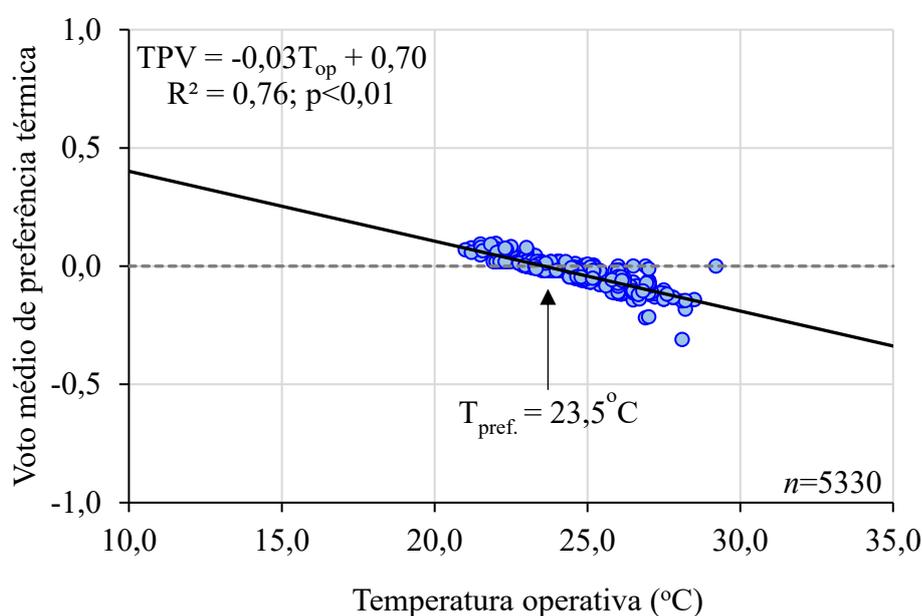


Figura 50 – Preferência térmica dos estudantes de São José nas salas de aula operando com ar-condicionado.



Wang *et al.* (2023) realizaram um estudo de campo de conforto térmico em 16 salas de aula da Universidade Tianjin Chengjian, China. Durante o estudo, a temperatura do ar externo variou de $7,8^{\circ}\text{C}$ a $13,9^{\circ}\text{C}$ e o isolamento médio de vestimenta dos estudantes era de 1,25 clo para mulheres e 1,15 clo para os homens. Wang *et al.* (2023) descobriram que a temperatura preferida dos estudantes nessas condições era de $21,6^{\circ}\text{C}$ e $22,0^{\circ}\text{C}$ para cada tipologia de sala de aula avaliada. Com a temperatura externa mais baixa durante o estudo de campo Chinês, os

estudantes se vestiam com roupas mais pesadas (média de 1,20 clo), ou seja, este valor é 36,0% maior do que o isolamento médio de vestimenta dos estudantes de Joinville e São José (0,88 clo). Isso fez com que a temperatura preferida pelos estudantes chineses (Wang *et al.*, 2023) fosse menor do que as obtidas neste estudo.

4.5.3 Modelos de conforto térmico adaptativo para temperatura de neutralidade térmica

As Figuras 51 a 54 mostram a relação entre a temperatura de neutralidade térmica, calculada por meio da regressão linear, e a temperatura predominante do ar externo para as salas de aula de Joinville e São José operando com ventilação natural e ar-condicionado. Nas duas cidades, quando as salas de aula operavam com ventilação natural, as retas de regressão possuíam inclinações maiores do que as retas das salas de aula operando com ar-condicionado, ou seja, nas salas de aula que operavam com ventilação natural a temperatura de conforto era fortemente influenciada pela temperatura predominante do ar externo. Em estudo realizado em salas de aula universitárias de Bangladesh, Talukdar *et al.* (2020) obtiveram o coeficiente angular de 0,38 para a reta de regressão entre temperatura de conforto e temperatura predominante do ar externo.

Os valores diferentes obtidos neste estudo podem ser explicados pelo fato de que Talukdar *et al.* (2020) realizaram investigações apenas no verão, enquanto neste estudo as medições ocorreram em todas as estações do ano. Além disso, as salas de aula estudadas por Talukdar *et al.* (2020) funcionavam com ventilação natural, mas possuíam ventiladores de teto. Em todos os casos, os modelos de conforto térmico adaptativo para temperatura de neutralidade térmica não apresentaram significância ($p\text{-valor} > 0,10$), ou seja, os modelos de regressão podem não ser adequados para realizar previsões da temperatura de neutralidade térmica a partir da temperatura média predominante do ar externo. Possivelmente os estudantes interpretavam a neutralidade na escala de sensação térmica de formas diferentes, assim como mostrado na subseção 4.3. Em muitos casos, os estudantes indicavam desconforto por frio ou por calor, mas responderam que preferiam que o ambiente não mudasse. Além disso, a regressão entre o voto de sensação térmica dos estudantes e a temperatura operativa desconsidera as possibilidades adaptativas pessoais dos estudantes.

Figura 51 – Modelo adaptativo para a temperatura de neutralidade térmica nas salas de aula de Joinville operando com ventilação natural.

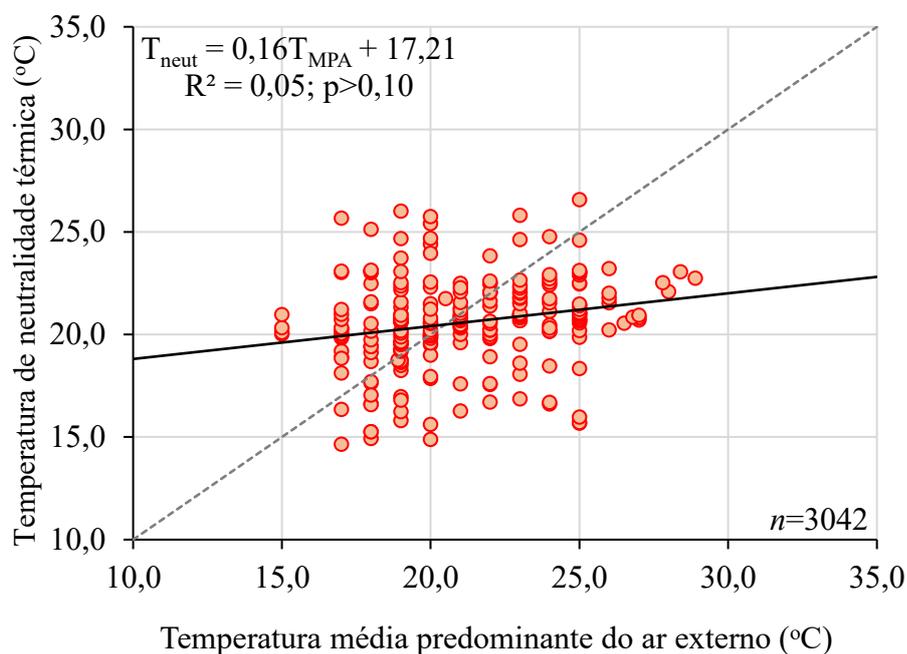


Figura 52 – Modelo adaptativo para a temperatura de neutralidade térmica nas salas de aula de Joinville operando com ar-condicionado.

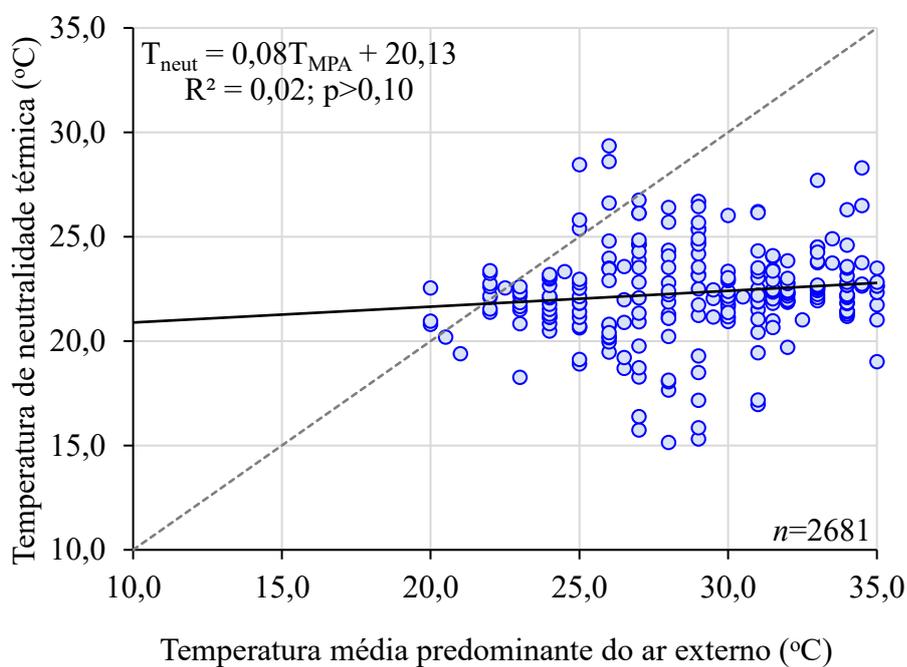


Figura 53 – Modelo adaptativo para a temperatura de neutralidade térmica nas salas de aula de São José operando com ventilação natural.

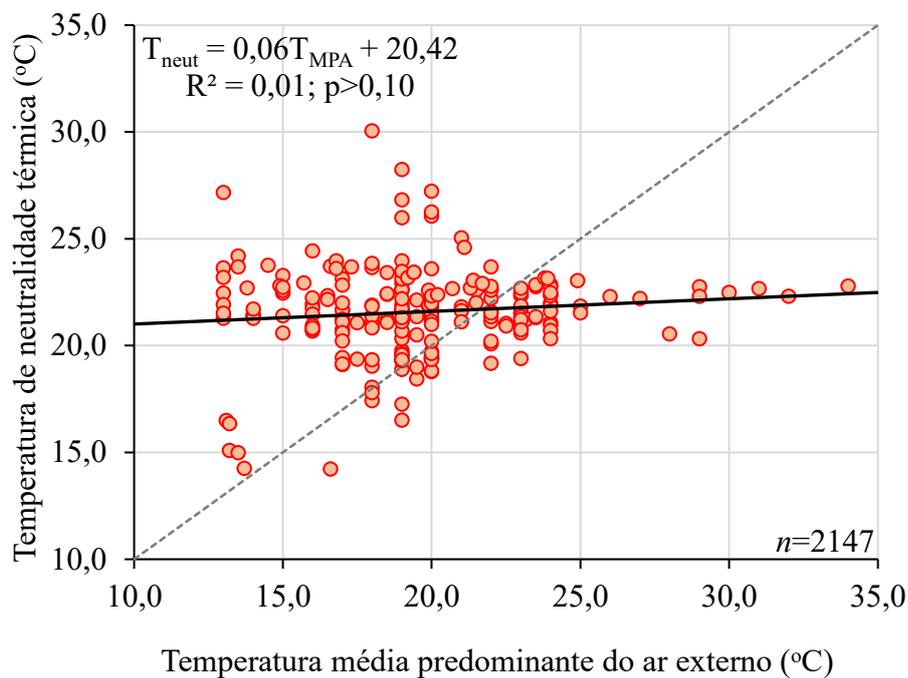
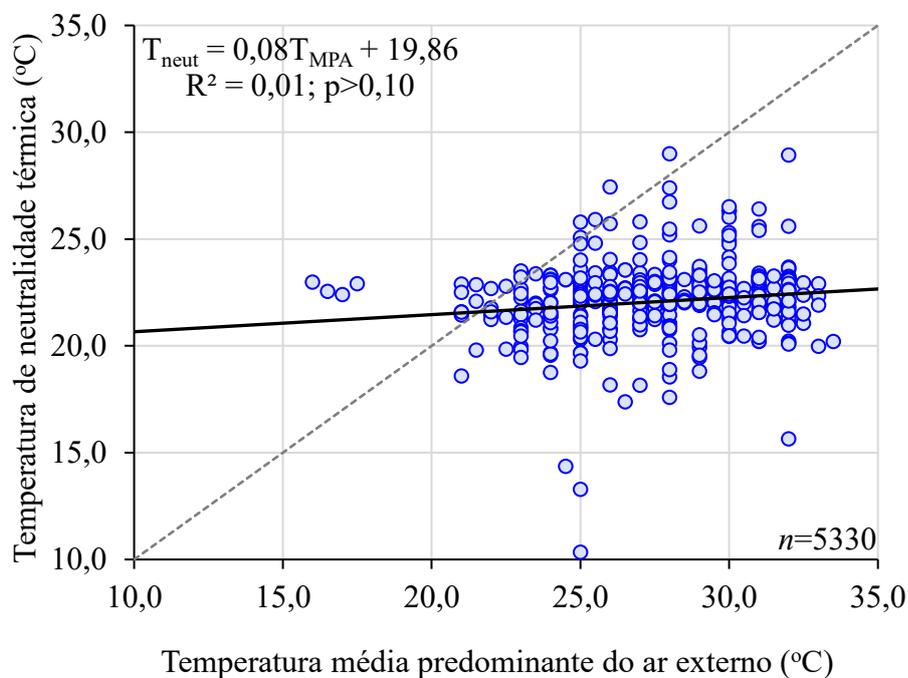


Figura 54 – Modelo adaptativo para a temperatura de neutralidade térmica nas salas de aula de São José operando com ar-condicionado.



4.5.4 Modelos de conforto térmico adaptativo para temperatura de conforto de Griffiths

As Figuras 55 a 58 mostram a relação entre a temperatura de conforto térmico, obtida por meio do método de Griffiths, e a temperatura média predominante do ar externo. Para as temperaturas de conforto obtidas por meio do método de Griffiths, todos os modelos apresentaram significância de, pelo menos, 5%. O modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula de Joinville operando com ventilação natural (Figura 55) apresentou um coeficiente angular da reta muito similar ao proposto pelas equações da EN-16798-1 (CEN, 2019). Na norma europeia, o coeficiente angular é de 0,33 para todas as categorias de conforto térmico. A ASHRAE 55 (2020) apresenta a inclinação entre a temperatura média predominante do ar externo e a temperatura de conforto de 0,31. Lamberti *et al.* (2023) também desenvolveram um modelo de conforto térmico adaptativo de salas de aula ventiladas naturalmente na Itália e na França. No estudo de Lamberti *et al.* (2023), a reta de regressão linear entre a temperatura de conforto de Griffiths e a temperatura média predominante do ar externo possuía inclinação de 0,25. A inclinação da reta obtida por Lamberti *et al.* (2023) pode ser explicada pela menor capacidade de adaptação dos estudantes devido a restrições no código de vestimenta das duas universidades estudadas.

Figura 55 – Modelo adaptativo para a temperatura de conforto de Griffiths nas salas de aula de Joinville operando com ventilação natural.

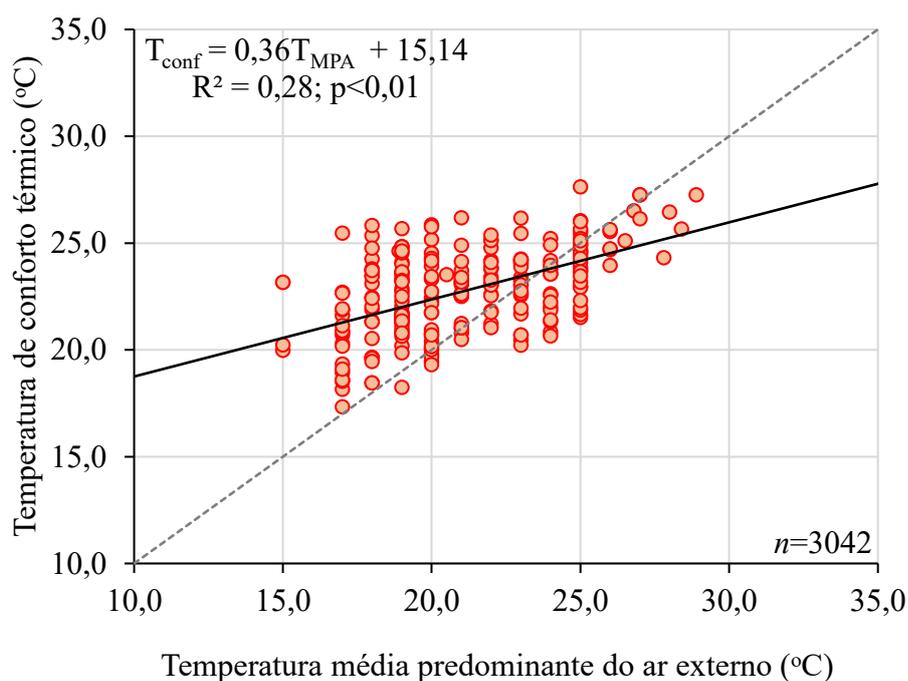
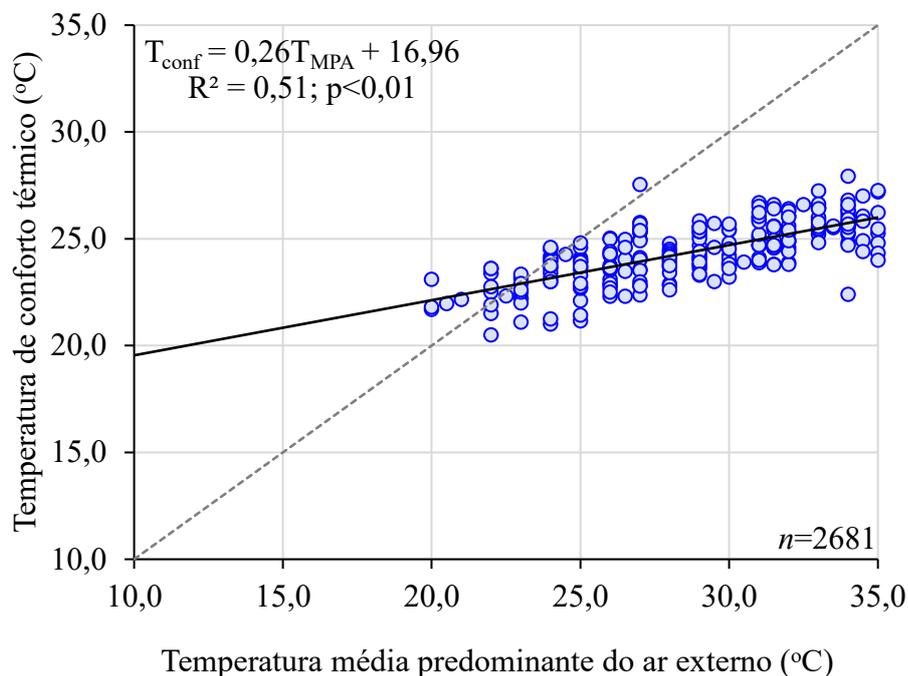


Figura 56 – Modelo adaptativo para a temperatura de conforto de Griffiths nas salas de aula de Joinville operando com ar-condicionado.



O modelo de conforto térmico adaptativo das salas de aula de São José que operavam com ventilação natural (Figura 57) foi que o teve o melhor ajuste em relação à temperatura média predominante do ar externo ($R^2=0,74$). Os estudantes de São José toleravam temperaturas internas menores como é possível observar na Figura 57. Mesmo quando as temperaturas internas eram menores do que $15,0^\circ\text{C}$, os estudantes ainda indicavam conforto térmico. Isso pode ser explicado pela adaptação do vestuário dos estudantes. Durante os levantamentos de campo realizados no inverno com temperaturas menores, o isolamento médio de vestimenta dos estudantes foi 1,03 clo. Da mesma forma, é possível notar na Figura 57 que, mesmo quando os estudantes eram expostos a temperaturas internas superiores a $25,0^\circ\text{C}$, eles ainda relatavam conforto térmico, mostrando a forte correlação entre a temperatura média predominante do ar externo e a temperatura de conforto térmico obtida por meio do método de Griffiths. No estudo de Singh *et al.* (2018), o modelo de conforto térmico adaptativo para salas de aula ventiladas naturalmente na Índia tinha um coeficiente angular de 0,49, que ainda é menor do que o obtido neste estudo. Diferente dos resultados mostrados nesta tese, o estudo de Singh *et al.* (2018) ocorreu apenas durante os meses de abril, maio e junho, o que pode influenciar a inclinação da reta, reduzindo a influência da temperatura média predominante do ar externo no conforto térmico dos estudantes. Em salas de aula de Chongqing, na China, o modelo de conforto térmico adaptativo proposto por Yao, Liu e Li (2010) tinha coeficiente angular da reta de 0,60, similar ao obtido neste estudo.

Figura 57 – Modelo adaptativo para a temperatura de conforto de Griffiths nas salas de aula de São José operando com ventilação natural.

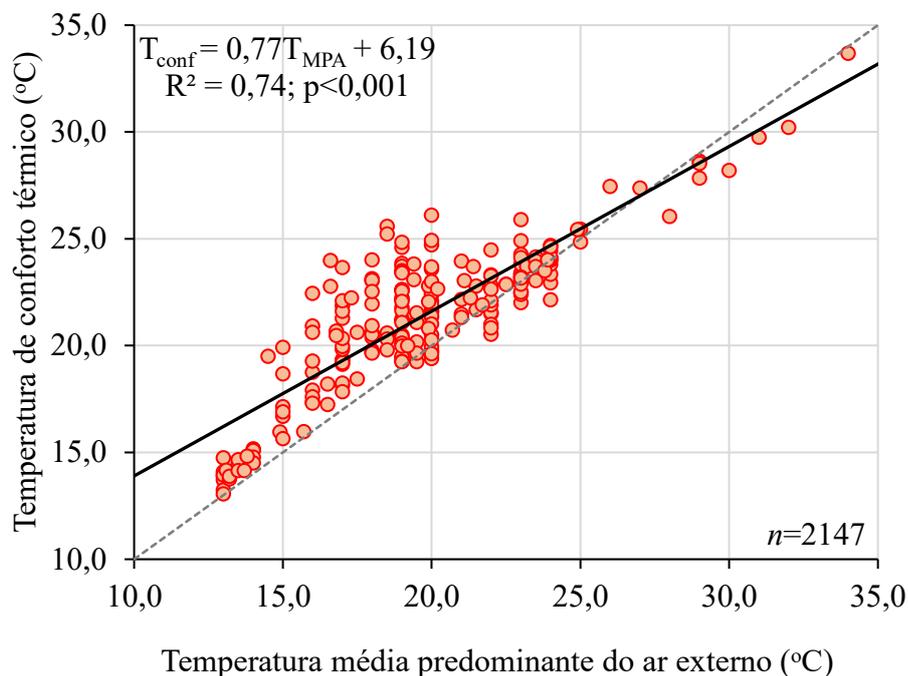
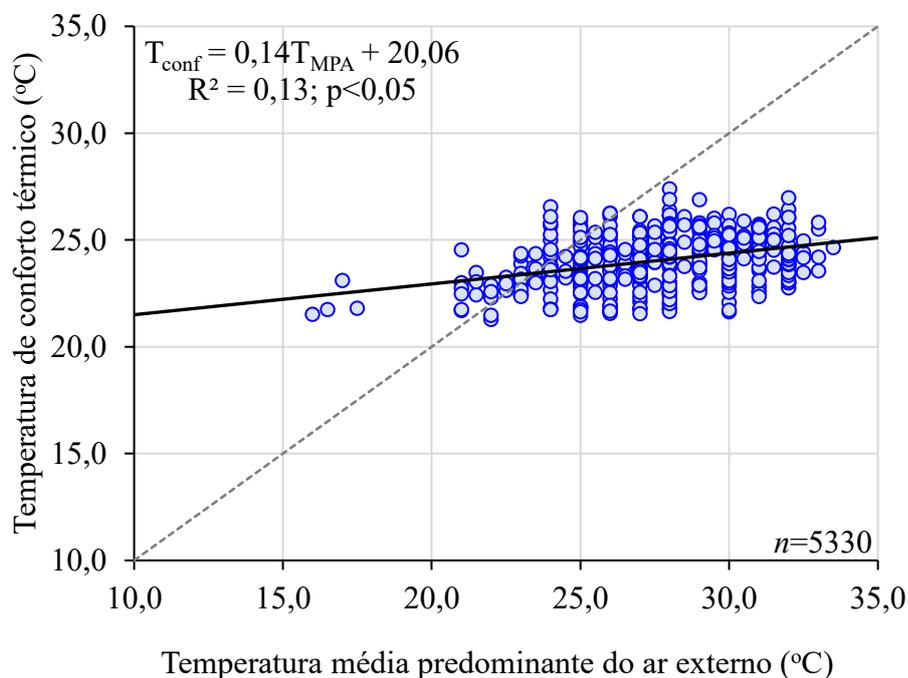


Figura 58 – Modelo adaptativo para a temperatura de conforto de Griffiths nas salas de aula de São José operando com ar-condicionado.



4.5.5 Faixas de conforto para temperatura de conforto de Griffiths

As Figuras 59 e 60 mostram as curvas de regressão logística dos percentuais de desconforto térmico por frio e por calor obtidos no estudo de campo para a temperatura de conforto térmico

do Griffiths nas salas de aula de Joinville operando com ventilação natural e com ar-condicionado, respectivamente. As Figuras 61 e 62 também mostram as curvas de regressão logística para as salas de aula de São José.

Figura 59 – Percentual de desconforto térmico real e previsto (regressão logística) em função do deslocamento da temperatura de conforto térmico de Griffiths para salas de aula operando com ventilação natural em Joinville.

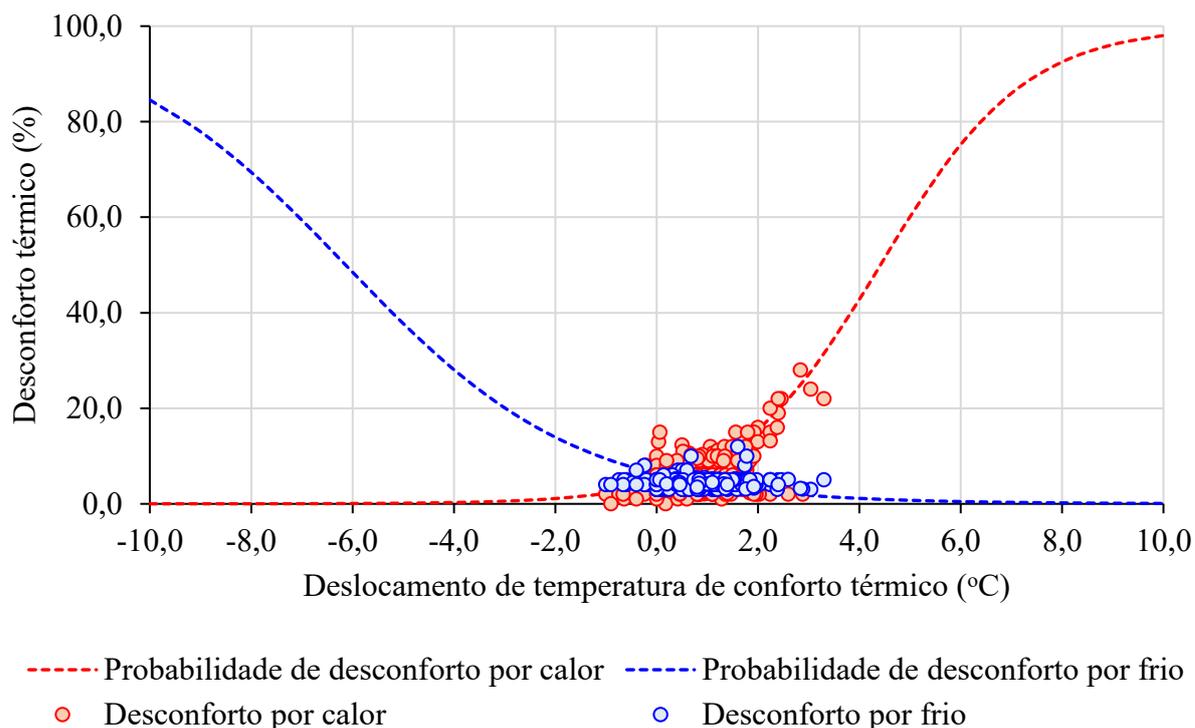


Figura 60 – Percentual de desconforto térmico real e previsto (regressão logística) em função do deslocamento da temperatura de conforto térmico de Griffiths para salas de aula operando com ar-condicionado em Joinville.

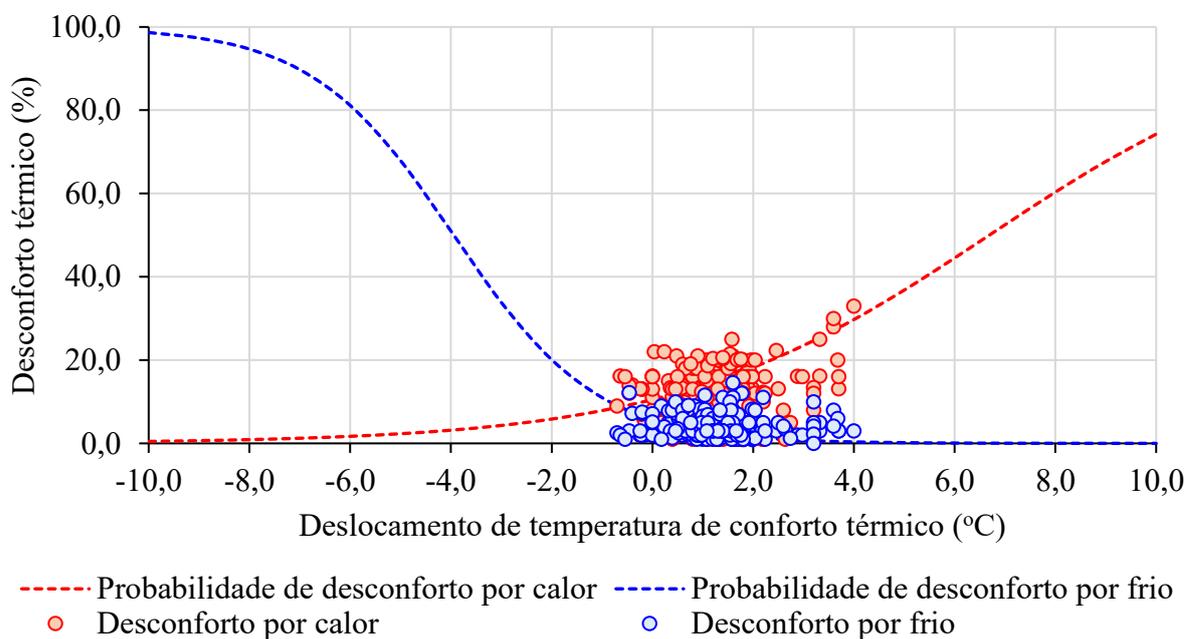


Figura 61 – Percentual de desconforto térmico real e previsto (regressão logística) em função do deslocamento da temperatura de conforto térmico de Griffiths para salas de aula operando com ventilação natural em São José.

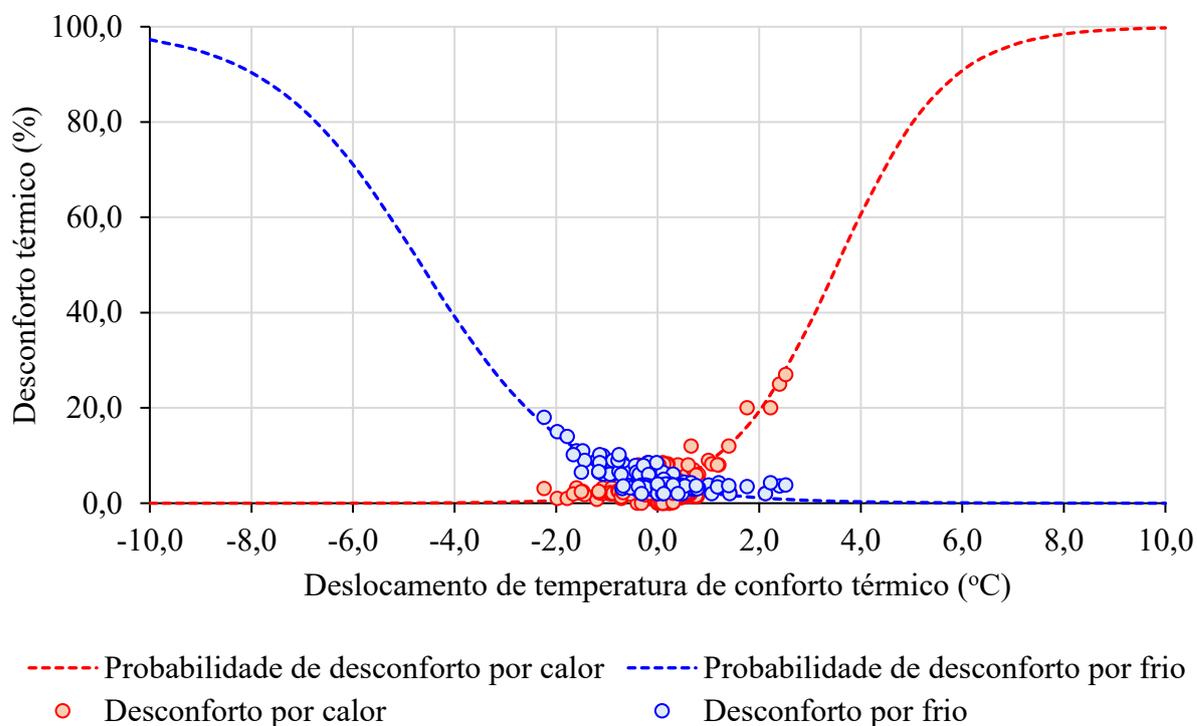
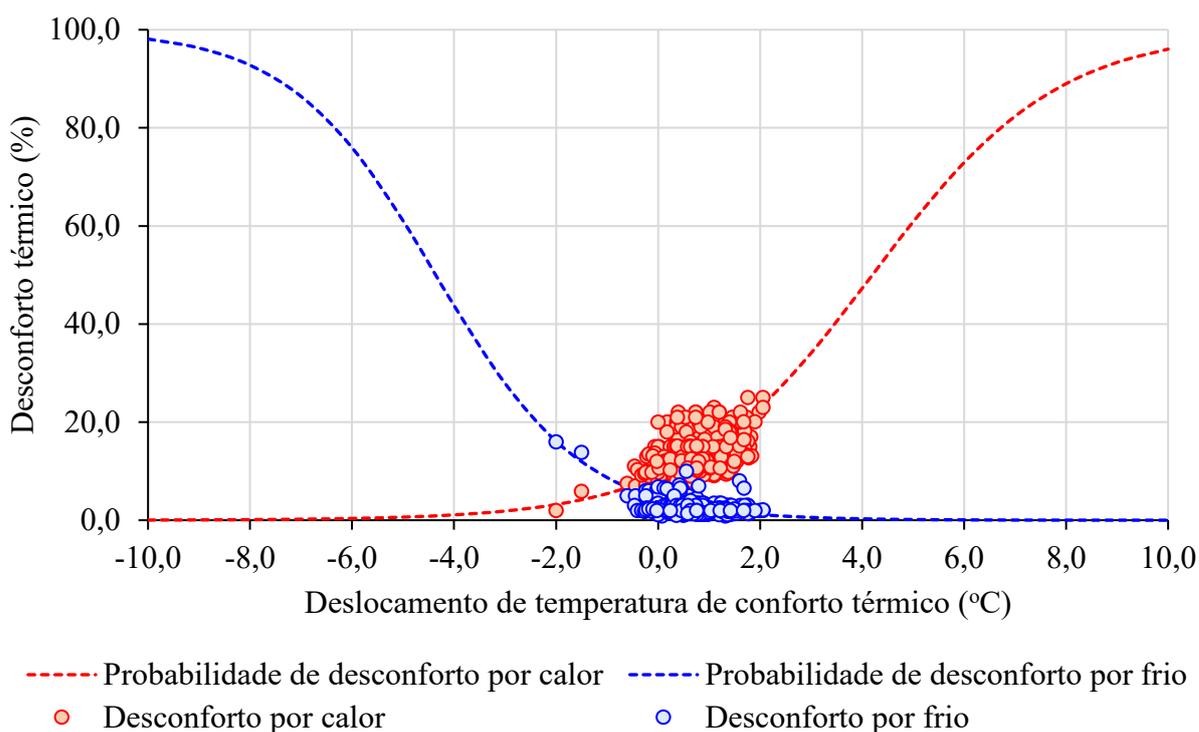


Figura 62 – Percentual de desconforto térmico real e previsto (regressão logística) em função do deslocamento da temperatura de conforto térmico de Griffiths para salas de aula operando com ar-condicionado em São José.



A Tabela 7 mostra as equações de regressão logística para o desconforto por frio e por calor nas cidades de Joinville e São José de acordo com o modo de operação das salas de aula. Apesar dos baixos coeficientes de determinação, todas as equações foram significativas ao nível de significância de 0,1%. Os percentuais de desconforto por frio e por calor para as faixas de 80% e 90% dos estudantes em situação de conforto térmico são mostrados na Tabela 8. Na maior parte dos casos, os dados reais de desconforto térmico por frio e por calor sobrepuseram-se ou ficaram muito próximos às linhas de regressão indicando que a curva de regressão logística se ajustou às observações. Apesar dos coeficientes de determinação baixos, todos os modelos de regressão logística apresentaram significância ao nível de $p < 0,001$, como mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Equações de regressão logística da probabilidade de desconforto por frio e por calor em função da diferença entre a temperatura operativa e a temperatura de conforto térmico.

Joinville		
Desconforto	Modo de operação	
	Ventilação natural	Ar-condicionado
Por calor	$P = \frac{1}{1 + e^{-(-3,09+0,70T_{dif})}}$ (n = 3042; R ² = 0,16; p<0,001)	$P = \frac{1}{1 + e^{-(-2,14+0,32T_{dif})}}$ (n = 2681; R ² = 0,22; p<0,001)
Por frio	$P = \frac{1}{1 + e^{-(-3,44-0,28T_{dif})}}$ (n = 3042; R ² = 0,11; p<0,001)	$P = \frac{1}{1 + e^{-(-2,80-0,71T_{dif})}}$ (n = 2681; R ² = 0,18; p<0,001)
São José		
Desconforto	Modo de operação	
	Ventilação natural	Ar-condicionado
Por calor	$P = \frac{1}{1 + e^{-(-3,29+0,93T_{dif})}}$ (n = 2147; R ² = 0,17; p<0,001)	$P = \frac{1}{1 + e^{-(-2,31+0,55T_{dif})}}$ (n = 5330; R ² = 0,16; p<0,001)
Por frio	$P = \frac{1}{1 + e^{-(-3,12-0,67T_{dif})}}$ (n = 2147; R ² = 0,19; p<0,001)	$P = \frac{1}{1 + e^{-(-3,05-0,74T_{dif})}}$ (n = 5330; R ² = 0,14; p<0,001)

Apesar de coeficientes da regressão terem sido similares aos coeficientes obtidos por Rupp *et al.* (2018), nota-se que a maioria deles foi ligeiramente maior do que os obtidos pelos autores. A pequena diferença nos coeficientes pode ser justificada pela diferença da tipologia das edificações, pois Rupp *et al.* (2018) estudaram edifícios de escritórios. A partir das regressões, foi possível calcular as faixas de temperatura para as situações de 80,0% e 90,0% de conforto térmico como mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 – Faixas de temperatura de conforto térmico para cada modo de operação.

Joinville		
Modo de operação	Faixa de 80% de conforto (°C)	Faixa de 90% de conforto (°C)
Ventilação natural	5,4	2,4
Ar-condicionado	4,3	0,7
São José		
Modo de operação	Faixa de 80% de conforto (°C)	Faixa de 90% de conforto (°C)
Ventilação natural	4,6	2,6
Ar-condicionado	4,1	1,4

As Figuras 63 e 64 mostram os modelos de conforto térmico adaptativo utilizando a temperatura de conforto térmico de Griffiths para as salas de aula de Joinville operando com ventilação natural e ar-condicionado, respectivamente. O modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula ventiladas naturalmente (Figura 63) apresentou inclinação muito similar ao modelo de conforto térmico adaptativo da ASHRAE 55 (2020). O deslocamento entre o modelo da ASHRAE 55 (2020) e o modelo de conforto térmico adaptativo proposto neste trabalho (Figura 63) indica que os estudantes de Joinville se sentiam confortáveis em temperaturas ligeiramente mais baixas. A região de conforto térmico foi similar ao modelo da ASHRAE 55 (2020), porém foi mais estreita, indicando que os estudantes eram menos tolerantes a variações da temperatura externa. Para as salas de aula operando com ar-condicionado (Figura 64) o modelo de conforto térmico adaptativo proposto também mostrou inclinação similar ao modelo da ASHRAE 55 (2020) com deslocamento um pouco acima do modelo para as salas de aula ventiladas naturalmente, indicando que os estudantes se sentiam termicamente confortáveis em temperaturas ligeiramente maiores. A faixa de temperatura que corresponde a 90% dos estudantes confortáveis foi muito mais estreita do que a faixa prevista pelo modelo da ASHRAE 55 (2020) tanto para as salas de aula operando com ventilação natural quanto para as salas de aula operando com ar-condicionado, evidenciando, novamente, a baixa

tolerância dos estudantes a variações de temperatura. Os modelos de conforto térmico adaptativo obtidos para as salas de aula de Joinville são similares aos modelos obtidos por De la Hoz-Torres *et al.* (2024) em salas de aula da Universidade de Granada, na Espanha.

Figura 63 – Modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula de Joinville operando com ventilação natural.

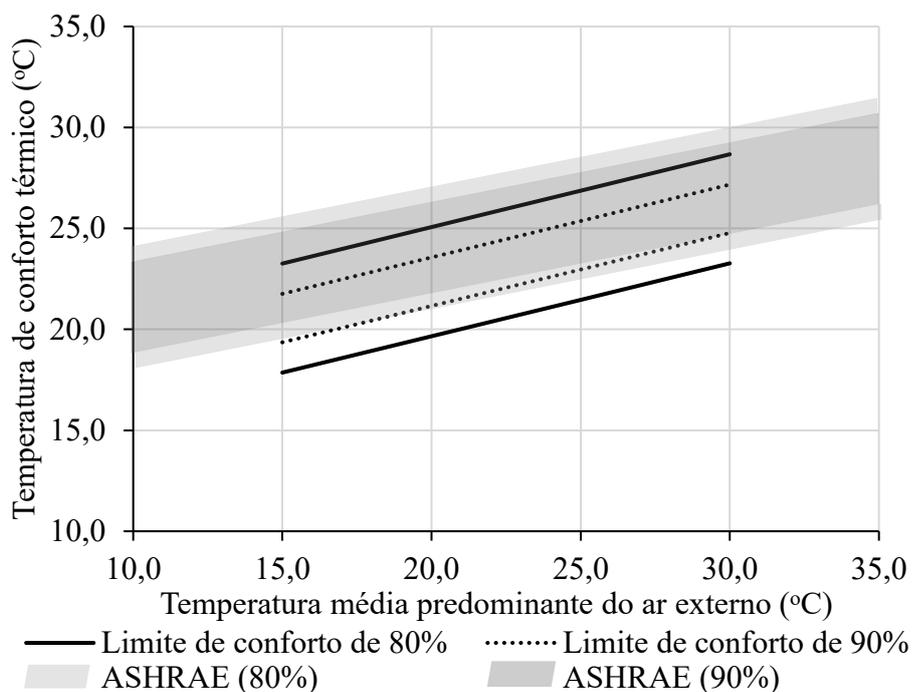
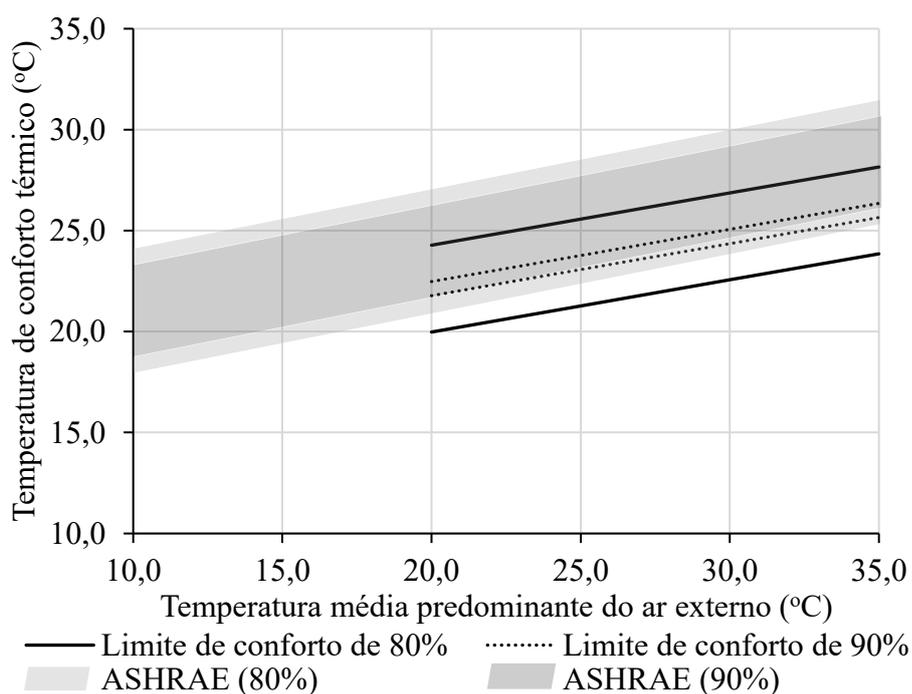


Figura 64 – Modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula de Joinville operando com ar-condicionado.



A Tabela 9 mostra as equações dos limites superiores e inferiores dos modelos de conforto térmico adaptativo das salas de aula de Joinville. Os coeficientes angulares das retas dos modelos de conforto térmico adaptativo de Joinville (0,36 para ventilação natural e 0,26 para ar-condicionado) são similares a outros resultados obtidos em salas de aula universitárias: 0,38 em Bangladesh (Talukdar *et al.*, 2020); 0,38 na Espanha (De la Hoz-Torres *et al.*, 2024) e 0,32 no México (López-Pérez; Flores-Preto; Rios-Rojas, 2019).

Tabela 9 – Equações dos limites superior e inferior dos modelos de conforto térmico adaptativo para temperaturas de conforto térmico para as salas de aula de Joinville.

Limites de conforto térmico	Ventilação natural	Ar-condicionado
Limite inferior de 80%	$T_{conf} = 0,36T_{MPA} + 12,44$	$T_{conf} = 0,26T_{MPA} + 14,81$
Limite superior de 80%	$T_{conf} = 0,36T_{MPA} + 17,84$	$T_{conf} = 0,26T_{MPA} + 19,11$
Limite inferior de 90%	$T_{conf} = 0,36T_{MPA} + 13,94$	$T_{conf} = 0,26T_{MPA} + 16,61$
Limite superior de 90%	$T_{conf} = 0,36T_{MPA} + 16,34$	$T_{conf} = 0,26T_{MPA} + 17,31$

As Figuras 65 e 66 mostram os modelos de conforto térmico adaptativo utilizando a temperatura de conforto térmico de Griffiths para as salas de aula de São José operando com ventilação natural e ar-condicionado, respectivamente. O modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula de São José ventiladas naturalmente (Figura 65) mostrou-se muito diferente do modelo da ASHRAE 55 (2020). O modelo mostrado na Figura 65 indica que para temperaturas médias predominante do ar externo mais baixas (menores do que 20°C) os estudantes relatam situação de conforto térmico em temperaturas operativas menores do que as previstas pelo modelo da ASHRAE 55 (2020). Isso pode ser explicado pela capacidade de adaptação de vestimenta dos estudantes (adicionar peças de roupa em situação de desconforto por frio), o que também foi observado em estudantes universitários da Jordânia por Elnaklah *et al.* (2023). Além disso, é possível que a constante de Griffiths adotada ($0,5^{\circ}\text{C}^{-1}$) não seja ideal para o cálculo da temperatura de conforto térmico em todas as situações, pois seu valor pode depender das condições térmicas do ambiente externo (Humphreys; Rijal; Nicol, 2013; Rupp *et al.*, 2019).

Abaixo de 25°C de temperatura média predominante do ar externo, o modelo adaptativo para as salas de aula operando com ar-condicionado em São José (Figura 66) apresentou a região de conforto térmico muito similar ao modelo da ASHRAE 55 (2020). No entanto, a região do modelo de conforto térmico adaptativo proposto nesta pesquisa é mais estreita do que o modelo da ASHRAE 55 (2020), indicando novamente que nas salas de aula operando com

ar-condicionado os estudantes eram menos tolerantes às variações de temperatura. Isso está de acordo com o que foi encontrado por outros autores (Lamberti *et al.*, 2023, Lau; Zhang; Tao, 2019; Guevara; Soriano; Mino-Rodriguez, 2021).

Figura 65 – Modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula de São José operando com ventilação natural.

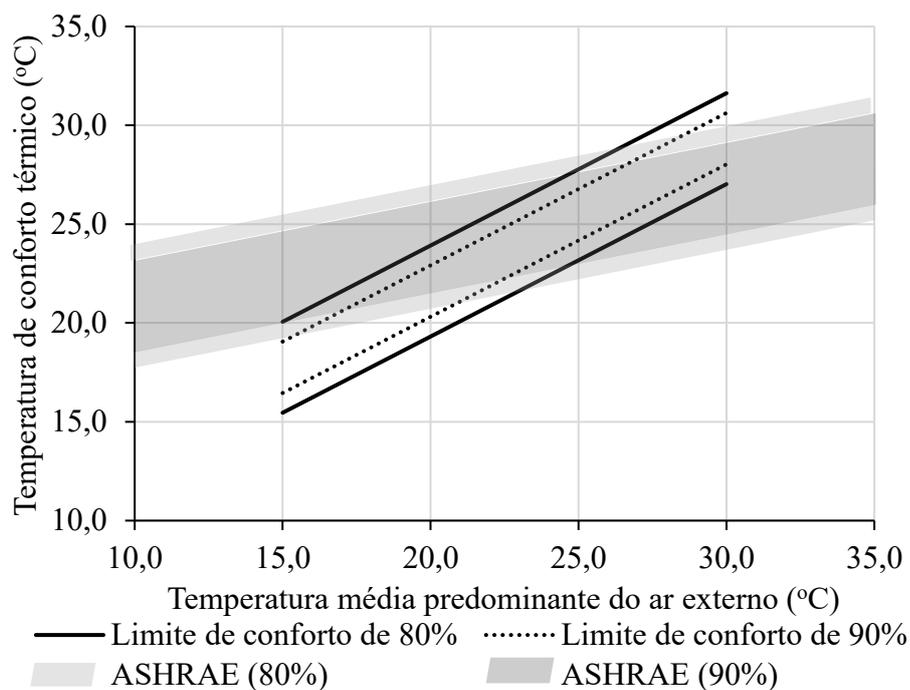
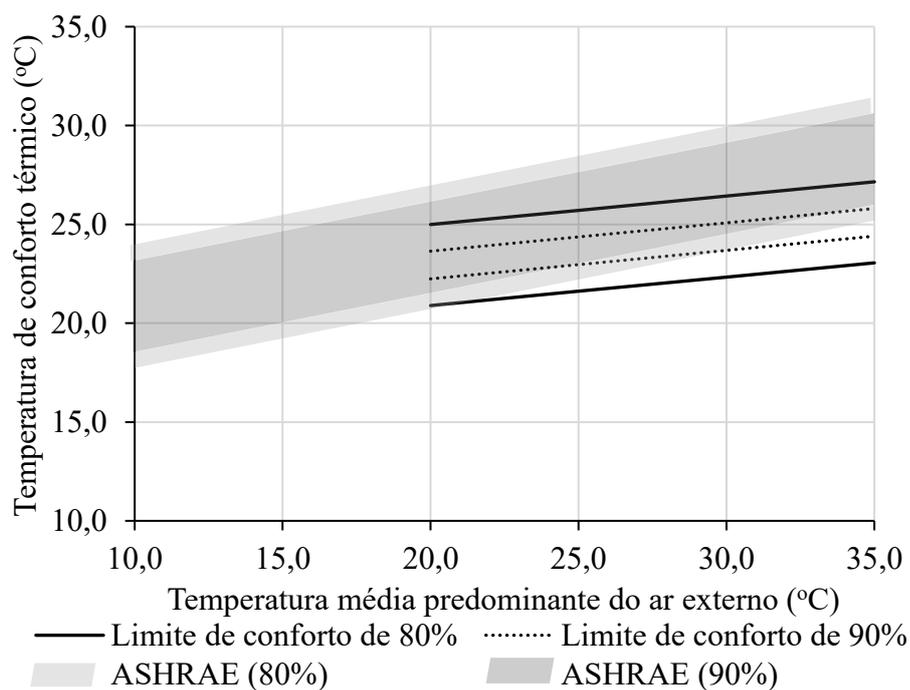


Figura 66 – Modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula de São José operando com ar-condicionado.



A Tabela 10 mostra as equações dos limites superiores e inferiores para os modelos de conforto térmico adaptativo para as salas de aula de São José. O modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula operando com ar-condicionado foi muito similar ao modelo obtido por López-Pérez, Flores-Preto e Rios-Rojas (2019). O modelo dos autores tinha coeficiente angular da reta de 0,13 e o termo independente da temperatura média predominante do ar externo era 22,70. O modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula de São José ventiladas naturalmente, no entanto, foi bem diferente da maioria dos modelos encontrados na literatura. Houve semelhança com o modelo proposto por Kumar e Singh (2021), que tinha coeficiente angular de 0,75.

Tabela 10 – Equações dos limites superior e inferior dos modelos de conforto térmico adaptativo para temperaturas de conforto térmico para as salas de aula de São José.

Limites de conforto térmico	Ventilação natural	Ar-condicionado
Limite inferior de 80%	$T_{conf} = 0,77T_{MPA} + 3,89$	$T_{conf} = 0,14T_{MPA} + 18,01$
Limite superior de 80%	$T_{conf} = 0,77T_{MPA} + 8,49$	$T_{conf} = 0,14T_{MPA} + 22,11$
Limite inferior de 90%	$T_{conf} = 0,77T_{MPA} + 4,89$	$T_{conf} = 0,14T_{MPA} + 19,36$
Limite superior de 90%	$T_{conf} = 0,77T_{MPA} + 7,49$	$T_{conf} = 0,14T_{MPA} + 20,76$

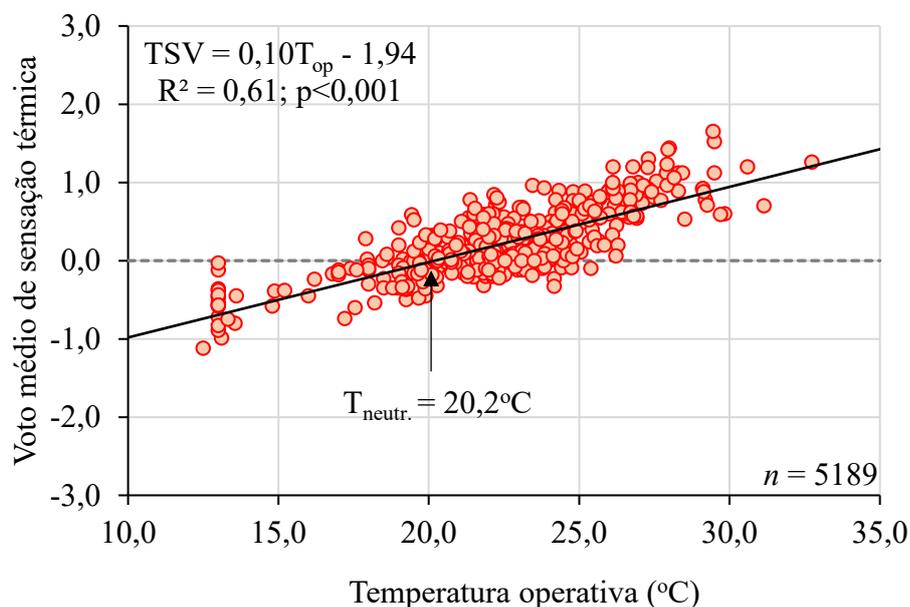
4.6 Desenvolvimento de modelos de conforto térmico geral para as salas de aula

Nesta seção, foram desenvolvidos modelos de conforto térmico para salas de aula universitárias em geral. Para isso, os votos coletados no estudo de campo foram utilizados agrupados em uma base de dados única, ou seja, para as duas cidades ao mesmo tempo (Joinville e São José).

4.6.1 Sensação térmica

A Figura 67 mostra a regressão linear entre os votos médios de sensação térmica e a temperatura operativa para as salas de aula operando com ventilação natural. A equação obtida neste estudo é similar à equação obtida por Wang *et al.* (2021). Os autores obtiveram uma equação com coeficiente angular de 0,08 em salas de aula da Universidade de Arquitetura e Tecnologia de Xi'an que está localizada em uma região com classificação climática Cfa (a mesma deste estudo). A inclinação da reta obtida (Figura 67) está entre os valores mínimos e máximos encontrados na literatura para salas de aula universitárias ventiladas naturalmente: 0,01 (Wang *et al.*, 2021) e 0,29 (Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez, 2021).

Figura 67 – Temperatura de neutralidade térmica dos estudantes nas salas de aula operando com ventilação natural.

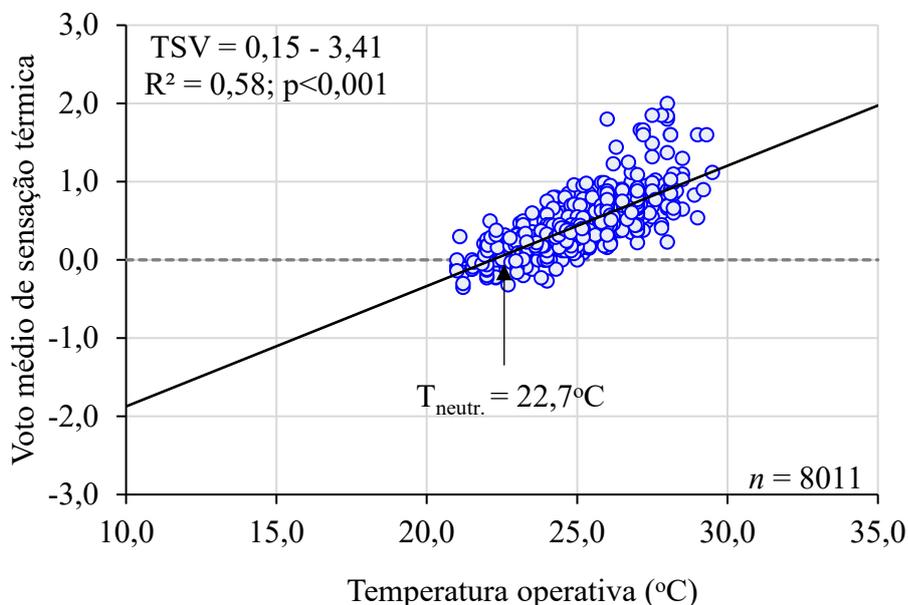


A temperatura de neutralidade térmica encontrada neste estudo ($20,2^{\circ}\text{C}$) foi ligeiramente menor do que a encontrada por Niza, Luz e Broday (2023). Os autores desenvolveram um estudo de campo na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, localizada em Ponta Grossa, também no Sul do Brasil. Niza, Luz e Broday (2023) concluíram que a temperatura de neutralidade térmica era $21,2^{\circ}\text{C}$. Possivelmente essa diferença ocorreu porque os estudantes de Ponta Grossa tinham isolamento médio de vestimenta menor do que os estudantes de Joinville e São José.

A Figura 68 mostra a regressão linear entre o voto médio de sensação térmica e a temperatura operativa quando as salas de aula operavam com ar-condicionado. A temperatura de neutralidade térmica encontrada neste estudo ($22,7^{\circ}\text{C}$) foi similar à encontrada por Buonocore *et al.* (2020) que relataram temperaturas de neutralidade entre 23°C e 24°C para salas de aula na Universidade Estadual do Maranhão. No entanto, o modelo proposto na Figura 68 apresentou coeficiente angular menor do que outros modelos de regressão linear desenvolvidos para salas de aula universitárias. Zaki *et al.* (2017) desenvolveram modelos de regressão linear entre a temperatura operativa e o voto médio de sensação térmica com coeficientes angulares de 0,43 no Japão e 0,33 na Malásia. Lau, Zhang e Tao (2019) encontraram o coeficiente angular de 0,39 para salas de aula em Singapura. Os modelos citados pelos autores, no entanto, tiveram coeficiente de determinação muito menor do que o obtido neste estudo (0,09 no Japão e 0,16 em Singapura). Isso mostra que, apesar da diferença, o

modelo apresentado na Figura 68 foi capaz de prever adequadamente a temperatura de neutralidade térmica dos estudantes brasileiros estudados nesta pesquisa.

Figura 68 – Temperatura de neutralidade térmica dos estudantes nas salas de aula operando com ar-condicionado.



4.6.2 Preferência térmica

A Figura 69 mostra a regressão entre o voto médio de preferência térmica dos estudantes e a temperatura operativa das salas de aula operando com ventilação natural. Curiosamente, os coeficientes de determinação das regressões utilizando os votos de preferência térmica foram maiores do que os das regressões dos votos de sensação térmica. Possivelmente isso ocorreu pela forma como os estudantes interpretavam as questões de sensação térmica e de preferência térmica. Durante os estudos de campo, era comum os estudantes perguntarem o significado de “neutro” na escala de sensação térmica.

Lamberti *et al.* (2023) realizaram um estudo de campo de conforto térmico em salas de aula universitárias da França e da Itália. Nos dois países, as salas de aula operavam com ventilação natural. O coeficiente angular da reta entre a preferência térmica e a temperatura operativa foi -0,09 para os estudantes franceses, resultado que é similar ao obtido neste estudo (Figura 69). Entretanto, considerando o levantamento de campo realizado na Itália, a regressão linear entre a preferência térmica e a temperatura operativa teve um coeficiente de -0,25. O estudo foi desenvolvido na cidade de Cachan, na França, que possui a mesma classificação climática de Joinville e São José (Cfb), o que pode explicar a similaridade dos resultados. No

entanto, a temperatura preferida pelos estudantes franceses foi 27,3°C. A temperatura preferida pelos estudantes franceses, maior do que a encontrada neste estudo, ocorreu, pois, apesar da mesma classificação climática, o estudo de Lamberti *et al.* (2023) foi desenvolvido ao longo do inverno, com temperaturas externas mais baixas (em média 7,3°C). Na Itália, a temperatura preferida pelos estudantes (24,1°C) foi similar à encontrada neste estudo. A Figura 70 mostra a regressão entre o voto médio de preferência térmica dos estudantes e a temperatura operativa das salas de aula operando com ar-condicionado.

Figura 69 – Preferência térmica dos estudantes nas salas de aula operando com ventilação natural.

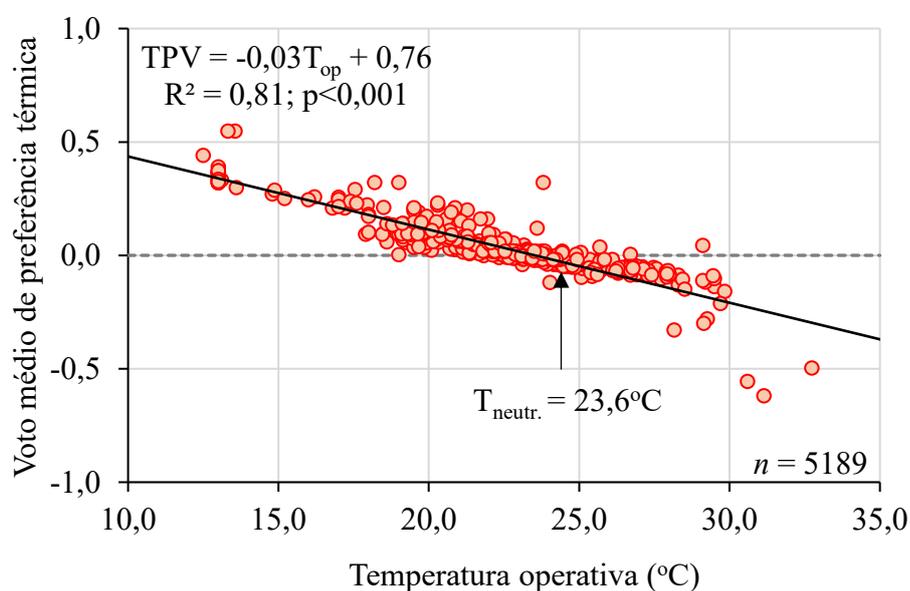
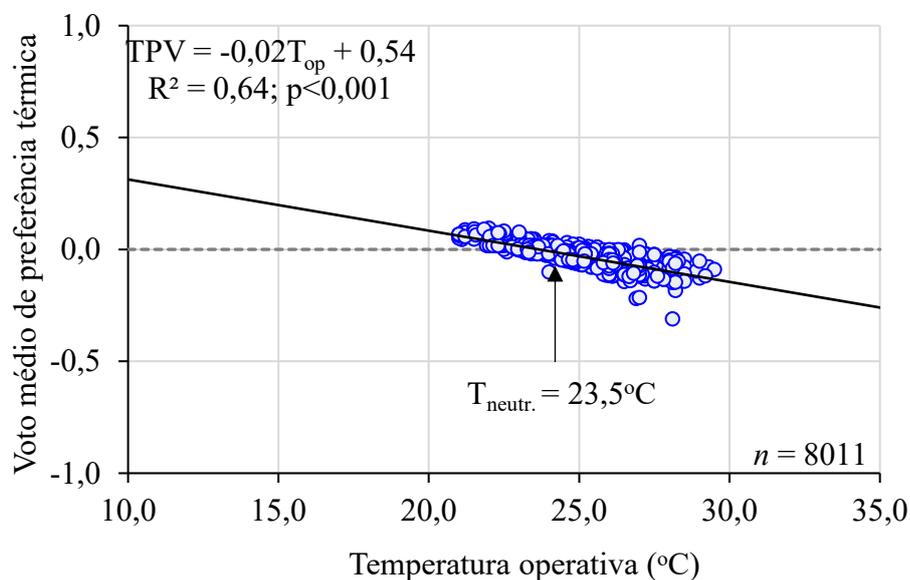


Figura 70 – Preferência térmica dos estudantes nas salas de aula operando com ar-condicionado.



A temperatura preferida pelos estudantes quando as salas estavam operando com ar-condicionado (Figura 70) foi similar a outros estudos. Torriani *et al.* (2023) concluíram que a temperatura preferida pelos estudantes universitários de Pisa, na Itália, era 24,5°C. Apesar da temperatura preferida encontrada pelos autores ser similar à obtida neste estudo, o modelo de regressão entre os votos de preferência térmica e a temperatura operativa para os estudantes italianos mostrou-se bastante diferente do que foi obtido neste estudo (Figura 70). A diferença entre as equações obtidas para os estudantes italianos e brasileiros pode estar relacionada ao clima (que é diferente nos dois locais) ou a questões individuais de cada grupo de estudantes.

4.6.3 Modelos de conforto térmico adaptativo para temperatura de neutralidade térmica

As Figuras 71 e 72 mostram os modelos de conforto térmico adaptativo elaborados para a temperatura de neutralidade térmica para as salas de aula operando com ventilação natural e ar-condicionado, respectivamente. Como se pode observar, nenhum dos modelos foi capaz de prever adequadamente o conforto térmico dos estudantes. Além disso, o p-valor indicou que os modelos não apresentavam significância. Assim, a neutralidade térmica não foi adequada para prever o conforto térmico dos estudantes universitários. Possivelmente isso ocorreu devido às diferentes interpretações do termo “neutralidade” nos questionários que foram respondidos ou pela natureza dos dados coletados conforme descrito por Rupp *et al.* (2022).

Figura 71 – Modelo adaptativo para a temperatura de neutralidade térmica nas salas de aula operando com ventilação natural.

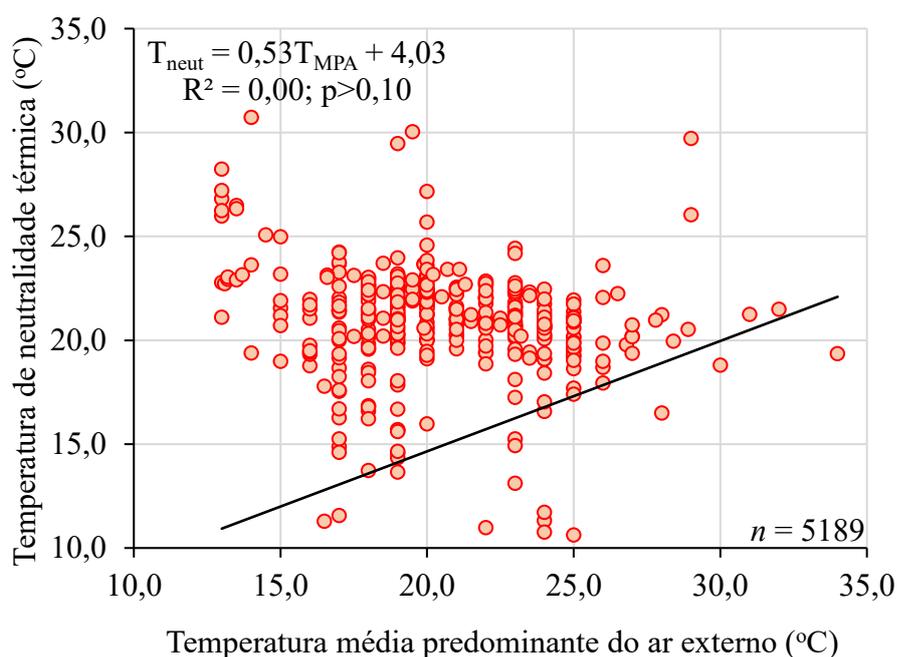
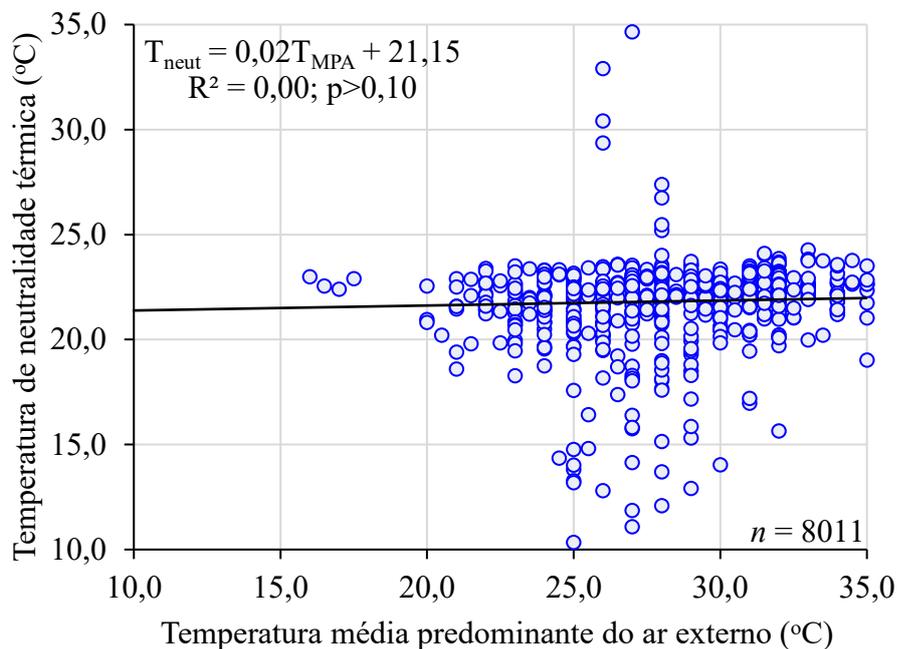


Figura 72 – Modelo adaptativo para a temperatura de neutralidade térmica nas salas de aula operando com ar-condicionado.



4.6.4 Modelos de conforto térmico adaptativo para temperatura de conforto de Griffiths

As Figuras 73 e 74 mostram os modelos de conforto térmico adaptativo obtidos para as temperaturas de conforto de Griffiths para as salas de aula operando com ventilação natural e ar-condicionado, respectivamente. Os resultados obtidos para a regressão linear das salas de aula ventiladas naturalmente indicam que a temperatura de conforto térmico é fortemente influenciada pela temperatura média predominante do ar externo. As regressões lineares obtidas para salas de aula operando com ventilação natural (Figura 73) foram similares às obtidas em outros estudos desenvolvidos em salas de aula universitárias: como na Índia (Singh *et al.*, 2018) e em Portugal (Romero *et al.*, 2024). A regressão linear da temperatura de conforto de Griffiths em função da temperatura média predominante do ar externo para as salas de aula condicionadas artificialmente (Figura 74) também foi similar às equações obtidas em estudos de campo realizados em salas de aula universitárias por López-Pérez, Flores-Preto e Rios-Rojas (2019), no México e por Zhao *et al.* (2024), na China. Ao comparar os resultados obtidos entre as salas de aula operando com ventilação natural (Figura 73) e com ar-condicionado (Figura 74), é possível perceber que, quando as salas de aula eram climatizadas, os estudantes eram menos tolerantes às variações de temperatura o que fez com que a faixa de conforto térmico fosse mais estreita.

Figura 73 – Modelo adaptativo para a temperatura de conforto de Griffiths nas salas de aula operando com ventilação natural.

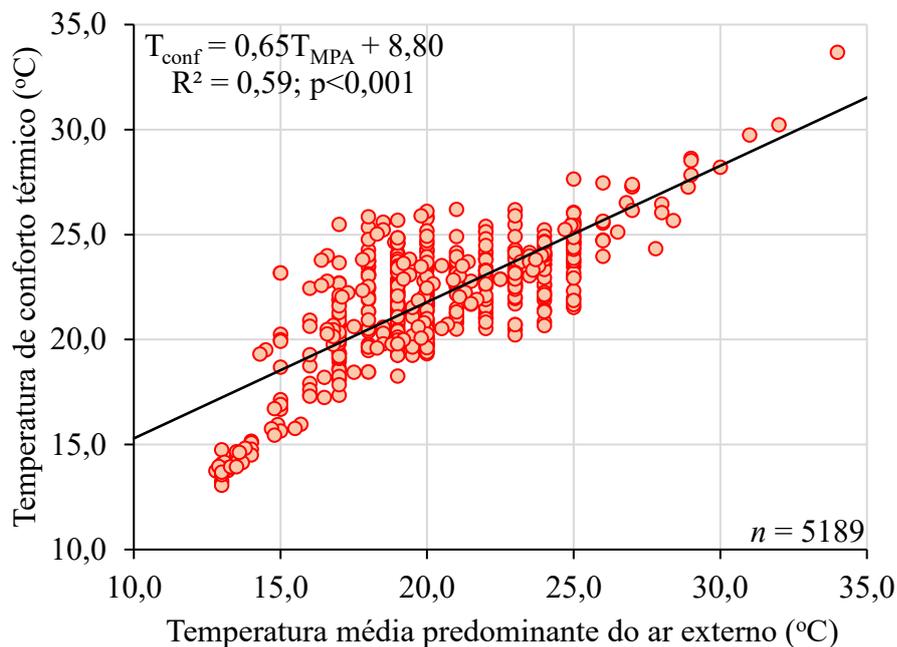
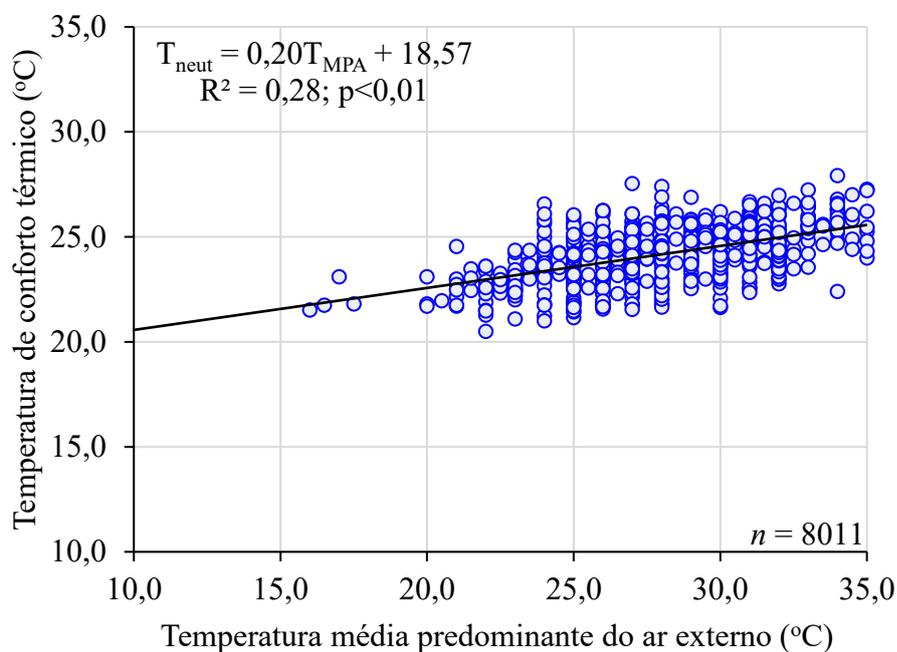


Figura 74 – Modelo adaptativo para a temperatura de conforto de Griffiths nas salas de aula operando com ar-condicionado.



As Figuras 75 e 76 mostram as regressões logísticas entre o percentual de desconforto (por frio e por calor) e o deslocamento de temperatura em relação à temperatura de conforto térmico de Griffiths para as salas de aula operando com ventilação natural e ar-condicionado.

Nas duas situações é possível perceber um pequeno deslocamento à direita (desconforto por calor) indicando que a percepção de conforto térmico dos estudantes não é simétrica em torno da temperatura de conforto térmico. Os resultados confirmam o que foi constatado por Buonocore *et al.* (2020), indicando que há uma tendência de que os estudantes oriundos de climas tropicais prefiram ambientais mais frescos. As equações de regressão logística são mostradas na Tabela 11. As equações de regressão mostradas na Tabela 11 foram similares àquelas obtidas por Rupp *et al.* (2018) para escritórios. Apesar do autor ter estudado outro tipo de edificação, as condições ambientais eram similares às condições deste estudo. A partir das equações de regressão logística, foram calculadas as faixas de temperatura de conforto térmico de Griffiths, mostradas na Tabela 12.

Figura 75 – Percentual de desconforto térmico real e previsto (regressão logística) em função do deslocamento da temperatura de conforto térmico de Griffiths para salas de aula operando com ventilação natural.

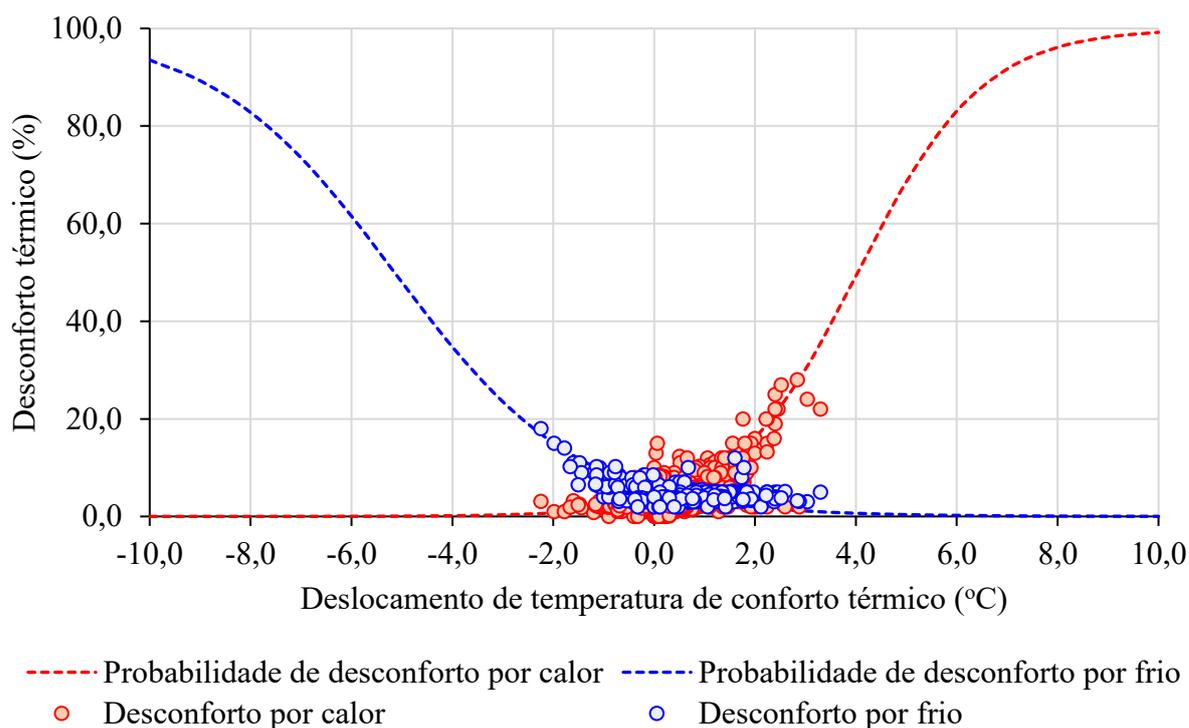


Figura 76 – Percentual de desconforto térmico real e previsto (regressão logística) em função do deslocamento da temperatura de conforto térmico de Griffiths para salas de aula operando com ar-condicionado.

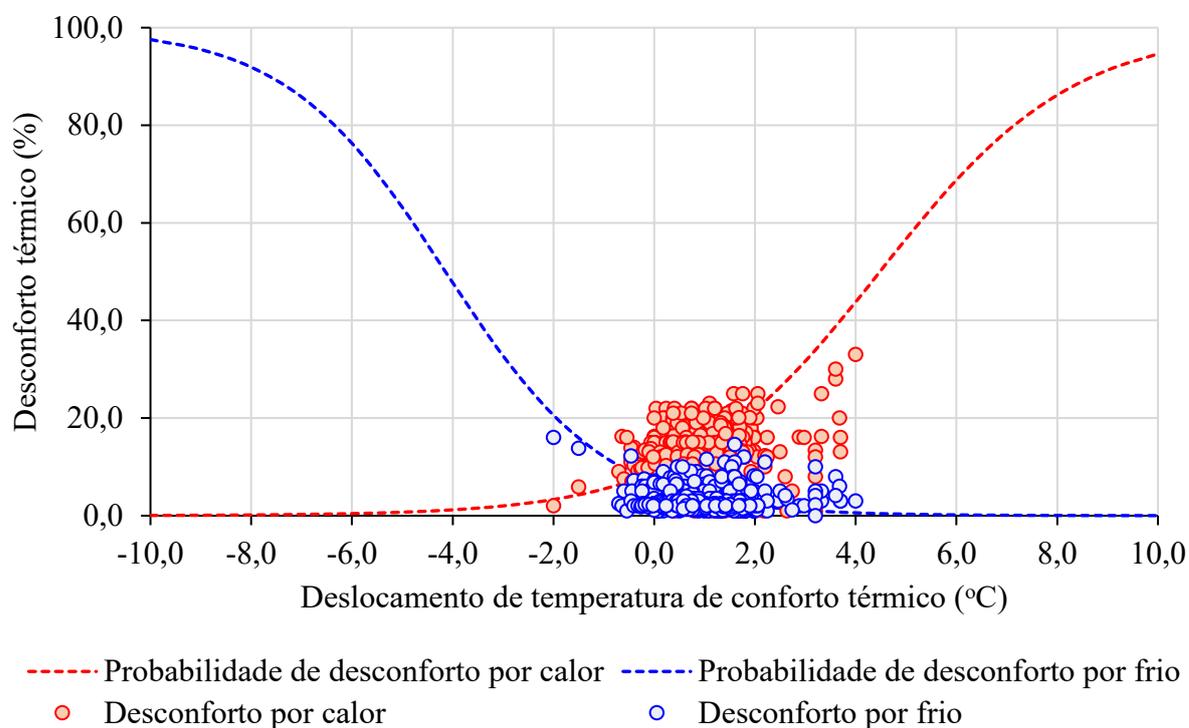


Tabela 11 – Equações de regressão logística da probabilidade de desconforto por frio e por calor em função da diferença entre a temperatura operativa e a temperatura de conforto térmico.

Desconforto	Modo de operação	
	Ventilação natural	Ar-condicionado
Por calor	$P = \frac{1}{1 + e^{-(-3,27+0,81T_{dif})}}$ (n = 5189; R ² = 0,21; p<0,001)	$P = \frac{1}{1 + e^{-(-2,33+0,52T_{dif})}}$ (n = 8011; R ² = 0,13; p<0,001)
Por frio	$P = \frac{1}{1 + e^{-(-2,83-0,55T_{dif})}}$ (n = 5189; R ² = 0,23; p<0,001)	$P = \frac{1}{1 + e^{-(-2,61-0,63T_{dif})}}$ (n = 8011; R ² = 0,18; p<0,001)

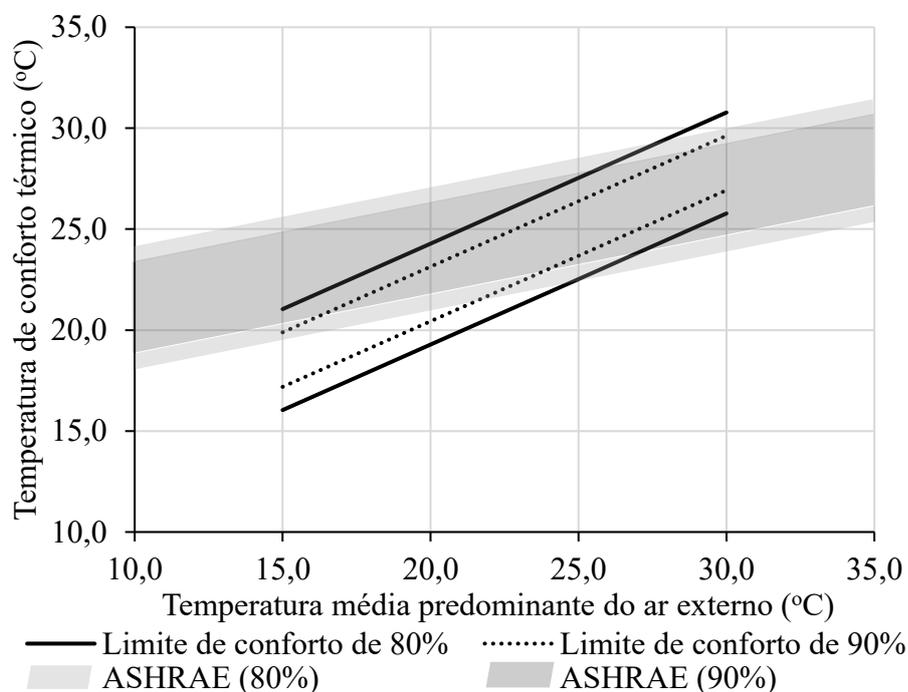
Tabela 12 – Faixas de temperatura de conforto térmico para cada modo de operação.

Modo de operação	Faixa de 80% de conforto (°C)	Faixa de 90% de conforto (°C)
Ventilação natural	5,0	2,5
Ar-condicionado	3,8	0,9

A Figura 77 mostra o modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula ventiladas naturalmente comparado ao modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2020). Verifica-se

que os estudantes relatavam situação de conforto térmico mesmo em temperaturas mais baixas, diferente do que é proposto pela ASHRAE 55 (2020). Isso pode ser explicado pelo fato de que os estudantes possuíam liberdade para adicionar peças de roupas quando sentiam frio. Além disso, em geral os estudantes preferiam temperaturas mais baixas (conforme relatado na subseção 4.6.2). O modelo de conforto térmico adaptativo proposto para as salas de aula ventiladas naturalmente também indica que os estudantes tinham seu conforto térmico fortemente influenciado pela temperatura predominante do ar externo (inclinação do modelo deste estudo maior do que o modelo da ASHRAE 55). Quando as temperaturas externas estavam entre 20°C e 30°C percebeu-se uma zona de conforto muito similar à zona de conforto proposta pelo modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2020). Resultados semelhantes foram obtidos por Fabozzi e Dama (2019). Os autores realizaram um estudo em dezesseis salas de aula do Centro Politécnico de Milão, na Itália, e constaram que mesmo em condições ambientais acima da faixa de conforto prevista pelo modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2020), 90% dos estudantes relatavam conforto térmico.

Figura 77 – Modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula operando com ventilação natural.

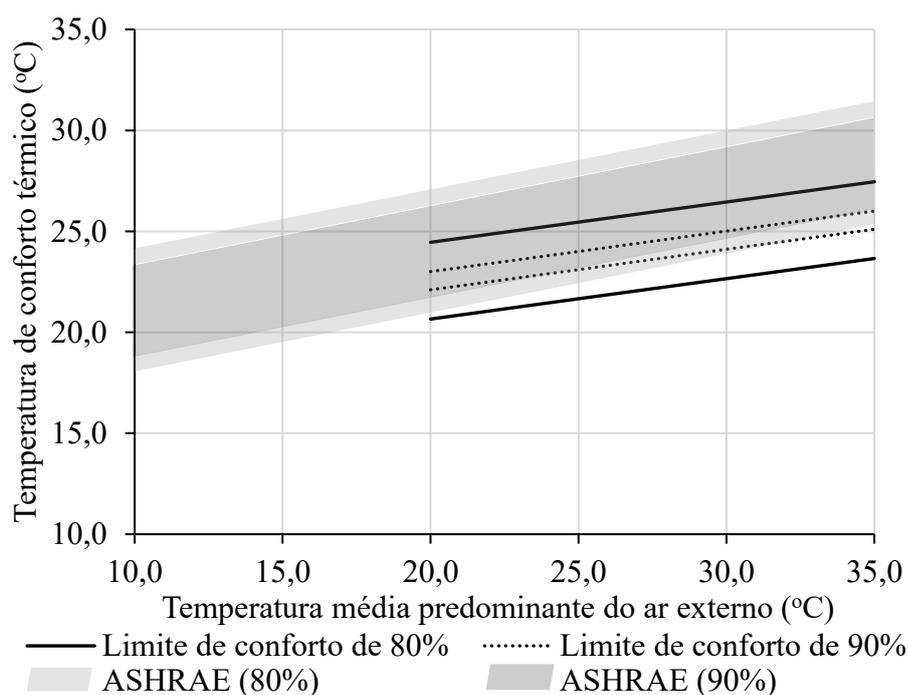


O modelo proposto neste estudo (Figura 77) também apresentou uma faixa de conforto térmico mais estreita. Isso indica que, diferentemente do que é previsto pelo modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2020), os estudantes são menos tolerantes a variações de temperatura. Isso

pode ter relação com o clima tropical que faz com que os estudantes prefiram ambientes mais frescos. O metabolismo dos estudantes pode ser diferente do metabolismo dos indivíduos estudados para a construção do modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2020) que foi baseado em estudos de escritórios com pessoas, em geral, mais velhas do que os estudantes que foram objeto deste estudo. Além disso, as oportunidades adaptativas entre os estudantes são diferentes, pois nem todos tem acesso direto a janelas e precisam pedir ao professor para abrir ou fechar. Em muitos casos, é comum que determinados estudantes tenham de negociar o ajuste do ar-condicionado com outros colegas.

A Figura 78 mostra o modelo de conforto térmico adaptativo obtido para salas de aula condicionadas artificialmente e comparado com o modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2020). Neste caso, a faixa de 90% de conforto térmico foi ainda mais estreita, confirmando a menor tolerância dos estudantes a variações de temperatura nos ambientes climatizados. Quando a temperatura média predominante do ar externo era menor do que 20°C, a região de conforto térmico do modelo proposto foi similar ao modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2020). Observa-se também que em temperaturas externas mais altas (acima de 25°C), os estudantes relatavam conforto térmico com temperaturas menores do que as previstas pelo modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2020), o que pode ser explicado pela capacidade de adaptação dos estudantes.

Figura 78 – Modelo de conforto térmico adaptativo para as salas de aula operando com ar-condicionado.



A Tabela 13 mostra as equações dos limites superiores e inferiores dos modelos de conforto térmico adaptativos propostos para salas de aula. As equações mostradas na Tabela 13 são similares às aquelas obtidas por Kumar e Singh (2021) em salas de aula ventiladas naturalmente e por López-Pérez, Flores-Preto e Rios-Rojas (2019) em salas de aula que operavam com ar-condicionado.

Tabela 13 – Equações dos limites superior e inferior dos modelos de conforto térmico adaptativo para temperaturas de conforto térmico (Griffiths) para as salas de aula de São José.

Limites de conforto térmico	Ventilação natural	Ar-condicionado
Limite inferior de 80%	$T_{conf} = 0,65T_{MPA} + 6,30$	$T_{neut} = 0,20T_{MPA} + 16,66$
Limite superior de 80%	$T_{conf} = 0,65T_{MPA} + 11,30$	$T_{neut} = 0,20T_{MPA} + 20,46$
Limite inferior de 90%	$T_{conf} = 0,65T_{MPA} + 7,45$	$T_{neut} = 0,20T_{MPA} + 18,11$
Limite superior de 90%	$T_{conf} = 0,65T_{MPA} + 10,15$	$T_{neut} = 0,20T_{MPA} + 19,01$

4.7 Influência do contexto socioeconômico

Todas as análises desenvolvidas nesta subseção foram realizadas para um grupo amostral que possuía variáveis ambientais e pessoais estatisticamente similares conforme procedimento descrito na subseção 3.8. Assim, apesar do estudo de campo ter resultado em 13200 votos válidos, a avaliação do contexto socioeconômico foi conduzida para uma amostra de 2147 votos. A análise das salas de aula operando com ventilação natural foi conduzida com 958 votos (556 votos de homens e 403 votos de mulheres). Para as salas de aula operando com ar-condicionado, a avaliação foi conduzida com 1189 votos (654 votos de homens e 535 votos de mulheres). A Tabela 14 mostra as médias e os desvios padrões para as variáveis ambientais, isolamento de vestimenta e atividade metabólica da amostra utilizada para análise do contexto socioeconômico. Como se pode observar na Tabela 14, todos os votos de sensação térmica utilizados nesta análise foram obtidos para condições ambientais e pessoais similares. O principal objetivo para este conjunto de dados era permitir que a comparação entre os grupos dos aspectos socioeconômicos fosse realizada evitando que outras variáveis interferissem na sensação térmica. Assim, foi possível avaliar as diferenças entre os grupos dos aspectos socioeconômicos.

Tabela 14 – Médias e desvios padrões das variáveis ambientais e pessoais.

Variáveis	Homens				Mulheres			
	Ventilação natural		Ar-condicionado		Ventilação natural		Ar-condicionado	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Temperatura operativa (°C)	23,50	0,60	23,40	0,70	23,50	0,60	23,40	0,70
Umidade relativa do ar interno (%)	62,00	2,00	58,00	2,00	62,00	2,00	58,00	2,00
Velocidade do ar interna (m/s)	0,13	0,03	0,11	0,02	0,13	0,03	0,11	0,02
Isolamento de vestimenta (clo)	0,54	0,02	0,59	0,02	0,57	0,02	0,62	0,03
Índice de massa corporal (IMC) (kg/m ²)	23,37	0,15	23,11	0,13	21,31	0,16	21,38	0,14
Taxa metabólica (met)	1,20	0,00	1,20	0,00	1,20	0,00	1,20	0,00

4.7.1 Aspecto A: faixa de renda per capita

As Figuras 79 e 80 mostram a relação entre o voto de sensação térmica e a temperatura operativa para os estudantes agrupados por gênero e faixa de renda per capita quando as salas operavam com ventilação natural e com ar-condicionado, respectivamente. Em todos os grupos houve diferenças significativas quando se avaliou a sensação térmica de estudantes homens e mulheres.

As temperaturas de neutralidade térmica para as estudantes mulheres, em todos os casos, foram maiores do que para os homens. Essa diferença de sensação térmica entre homens e mulheres foi confirmada por outros pesquisadores em salas de aula de universidades ventiladas naturalmente (Hu *et al.*, 2022; Jowkar *et al.*, 2020b; Thapa, 2019, 2021), em salas de aula universitárias operando com aquecimento central (Hu *et al.*, 2022; Jowkar *et al.*, 2020b) e em escritórios operando com ar-condicionado e em modo misto (Maykot; Rupp; Ghisi, 2018a, 2018b). As diferenças entre as temperaturas de neutralidade térmica são explicadas por questões fisiológicas como a diferença na composição corporal de homens e mulheres Kingma, Frijns e Lichtenbelt (2012). A temperatura de neutralidade térmica média obtida pelas regressões lineares quando as salas de aula operavam com ventilação natural era 22,3°C para os estudantes homens e 23,4°C para as estudantes mulheres. Quando as salas operavam com ar-condicionado, a temperatura de neutralidade térmica média para os homens era 22,1°C e para as mulheres era 23,2°C.

Figura 79 – Relação entre o voto de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a faixa de renda (ventilação natural).

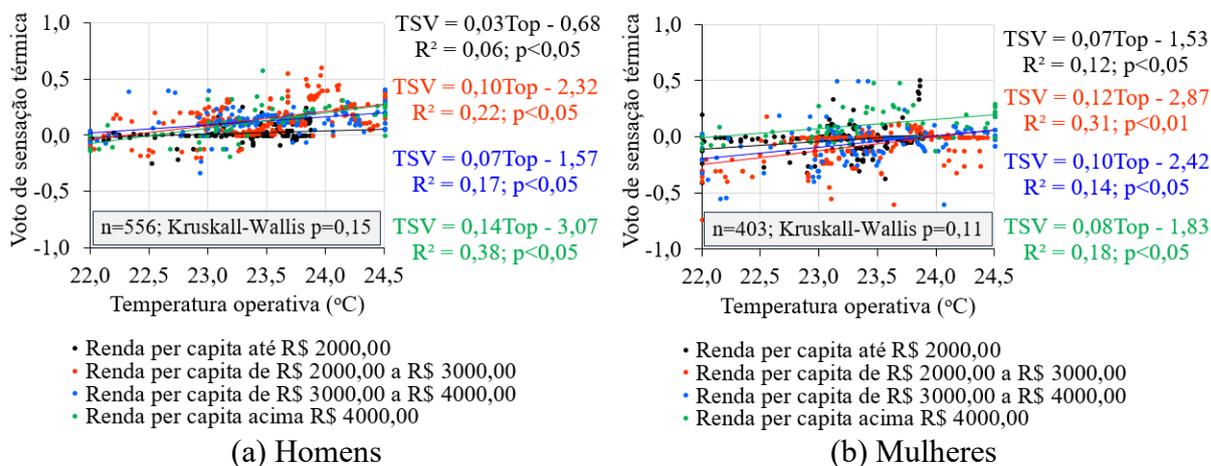
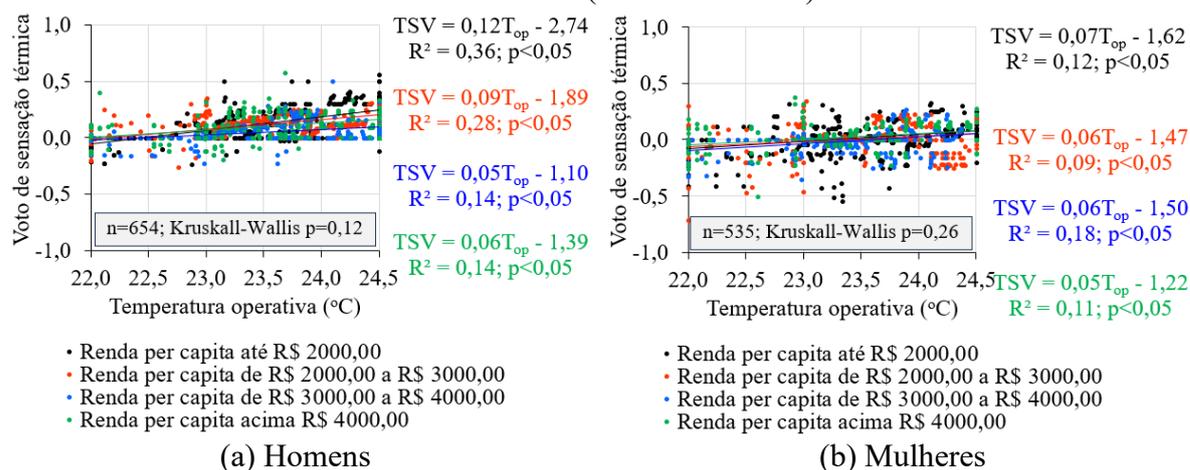


Figura 80 – Relação entre o voto de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a faixa de renda (ar-condicionado).



Os resultados dos testes de Kruskal-Wallis, mostrados nas Figuras 79 e 80, demonstram que não houve diferenças significativas entre os votos de sensação térmica agrupados por faixas de renda per capita. Para avaliar a influência do contexto socioeconômico no conforto térmico de estudantes chilenos, Trebilcock *et al.* (2017) conduziram um estudo de campo em escolas primárias com crianças de 5 a 9 anos de idade. Os autores elaboraram modelos de regressão entre a temperatura de conforto (variável dependente) e um índice de vulnerabilidade social (variável independente). Os modelos de regressão linear de Trebilcock *et al.* (2017) tiveram coeficientes de determinação de 0,38 a 0,48 para as análises conduzidas durante o inverno e de 0,00 a 0,07 para as análises conduzidas na primavera. Trebilcock *et al.* (2017) afirmaram que, no inverno, foi observada correlação entre o índice de vulnerabilidade social e a temperatura de conforto das crianças, diferentemente do que foi observado neste estudo. No entanto, durante a análise conduzida por Trebilcock *et al.* (2017) na primavera, a correlação entre a

vulnerabilidade social e a temperatura de conforto encontrada era muito baixa ou inexistente. As diferenças encontradas por Trebilcock *et al.* (2017) podem estar relacionadas a menor possibilidade de adaptação das crianças, pois eram os professores que regulavam abertura de janelas e persianas. Neste estudo, a abertura de janelas e portas, e o acionamento do ar-condicionado era realizado livremente por estudantes e professores. Além disso, neste estudo foram analisados votos de sensação térmica de estudantes que estavam submetidos a condições ambientais e pessoais estatisticamente semelhantes, mas não há menção sobre isso no estudo de Trebilcock *et al.* (2017). Montazami *et al.* (2017) também encontraram diferenças (0 a 14%) entre a sensação térmica de crianças (8 a 11 anos) para contextos socioeconômicos diferentes. No entanto, a conclusão de Montazami *et al.* (2017) foi baseada na análise da percepção térmica geral das crianças em casa e na escola. Os votos de sensação térmica das crianças para diferentes contextos socioeconômicos não foram comparados.

4.7.2 Aspecto B: situação de trabalho

O contexto socioeconômico também foi definido pela situação de trabalho dos estudantes (aspecto B). Foram consideradas duas situações distintas: quando os estudantes não trabalhavam ou não eram responsáveis pelo próprio sustento e quando trabalhavam e eram responsáveis pelo próprio sustento. A Figura 81 mostra a relação entre o TSV e a temperatura operativa para os estudantes agrupados por situação de trabalho em salas de aula ventiladas naturalmente. Na Figura 82 a mesma análise é mostrada para as salas de aula operando com ar-condicionado.

Figura 81 – Relação entre o voto de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a situação de trabalho (ventilação natural).

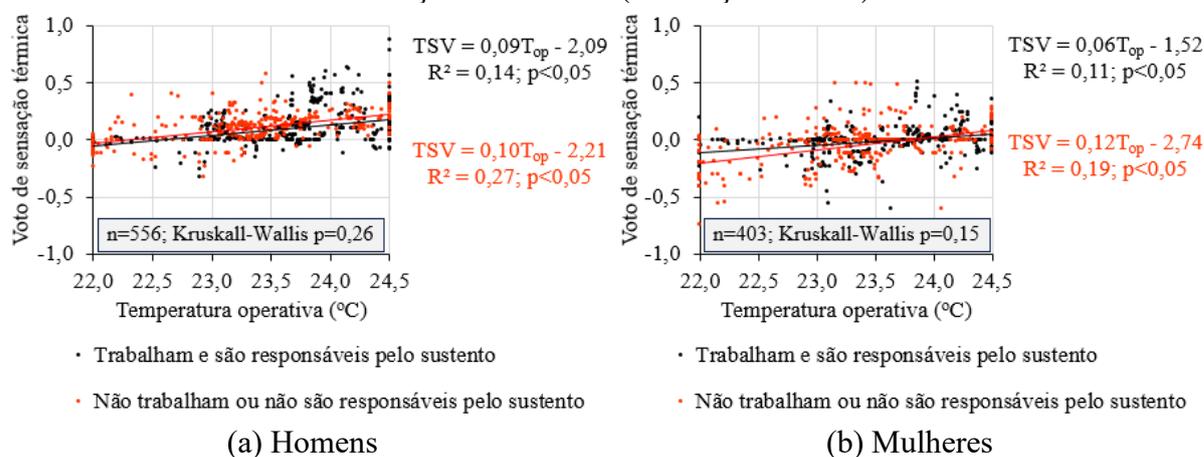
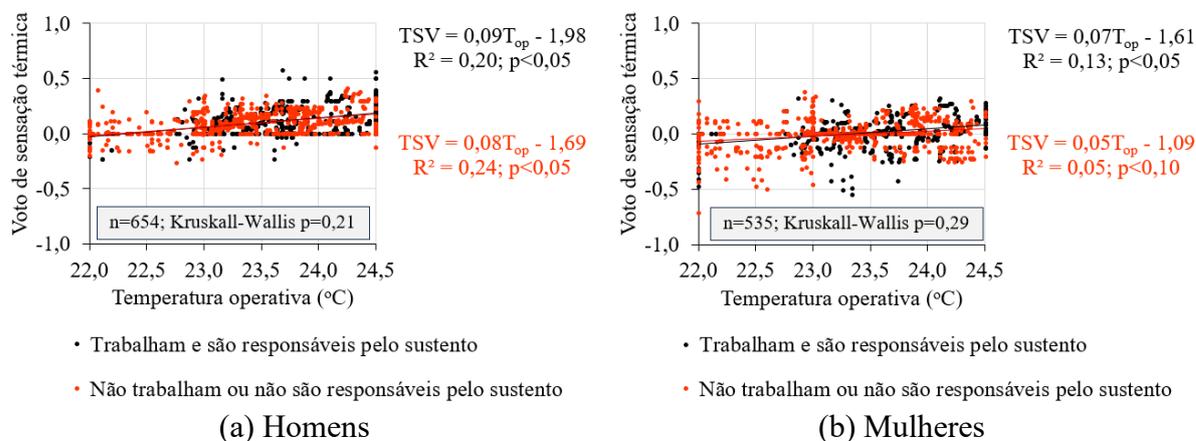


Figura 82 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a situação de trabalho (ar-condicionado).



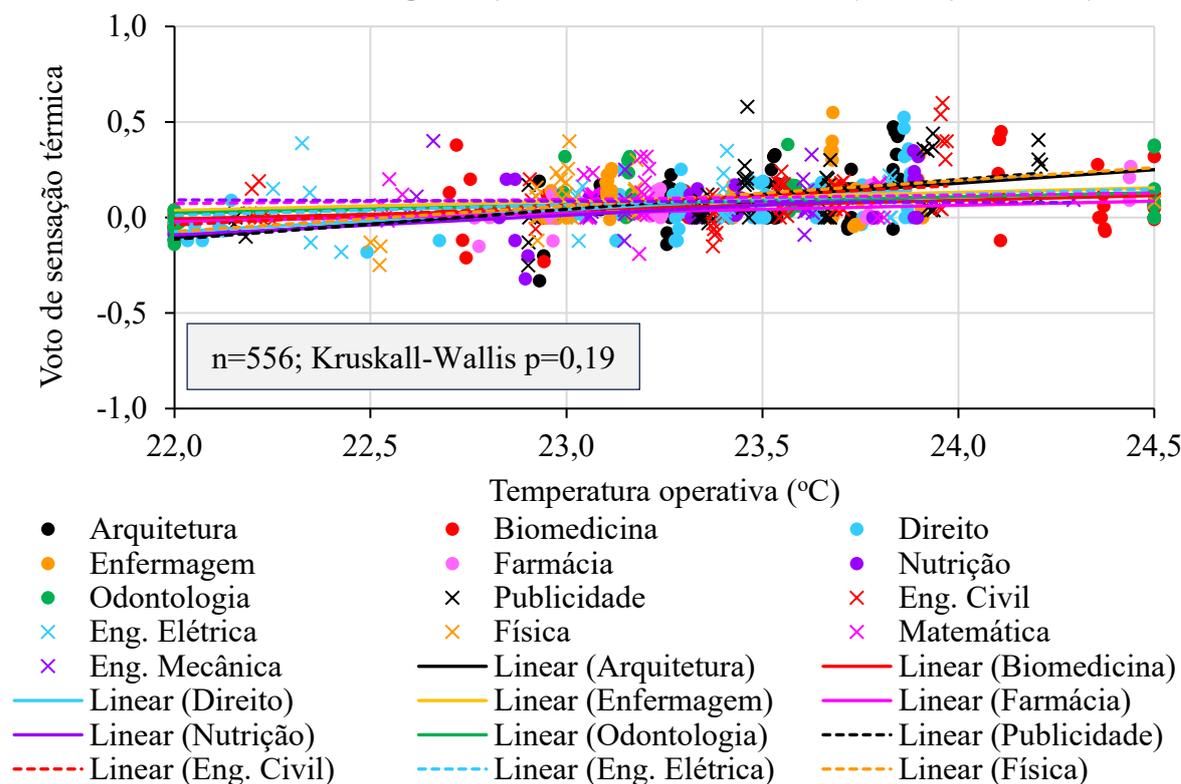
Em todos os casos, não houve diferenças significativas na percepção de conforto térmico dos estudantes agrupados por situação de trabalho. Para avaliar a relação entre o conforto térmico e o contexto social, Uddin *et al.* (2023) separaram os votos de sensação térmica em dois grupos: moradores que eram proprietários e moradores que eram inquilinos. O teste qui-quadrado demonstrou que não havia diferenças significativas no conforto térmico entre os dois grupos ($p=0,647$).

4.7.3 Aspecto C: curso de graduação

Ao agrupar os estudantes pelo curso de graduação no qual estão matriculados, novamente o teste de Kruskal-Wallis não demonstrou, ao nível de significância de 5%, que havia diferenças significativas entre a sensação térmica dos estudantes por curso de graduação nas salas ventiladas naturalmente, como mostrado nas Figuras 83 e 84. Torriani *et al.* (2023) encontraram diferenças significativas na percepção de conforto térmico para estudantes de diferentes fases educacionais, porém não foram avaliadas diferenças entre os cursos. Os autores realizaram estudos de campo em escolas primárias, fundamentais, de ensino médio e em universidades. As diferenças encontradas por Torriani *et al.* (2023) estão ligadas ao comportamento adaptativo que foi percebido como menor nas crianças assim como relatado por Trebilcock (2017). A pesquisa de Torriani *et al.* (2023) assim como esta, demonstrou que os estudantes universitários eram mais livres para tomar medidas de adaptação pessoal. As Figuras 85 e 86 mostram, respectivamente, a relação entre a sensação térmica dos estudantes homens e mulheres para as salas de aula que operavam com ar-condicionado. Novamente, o teste de Kruskal-Wallis não demonstrou diferenças significativas entre os votos de sensação térmica dos estudantes entre os

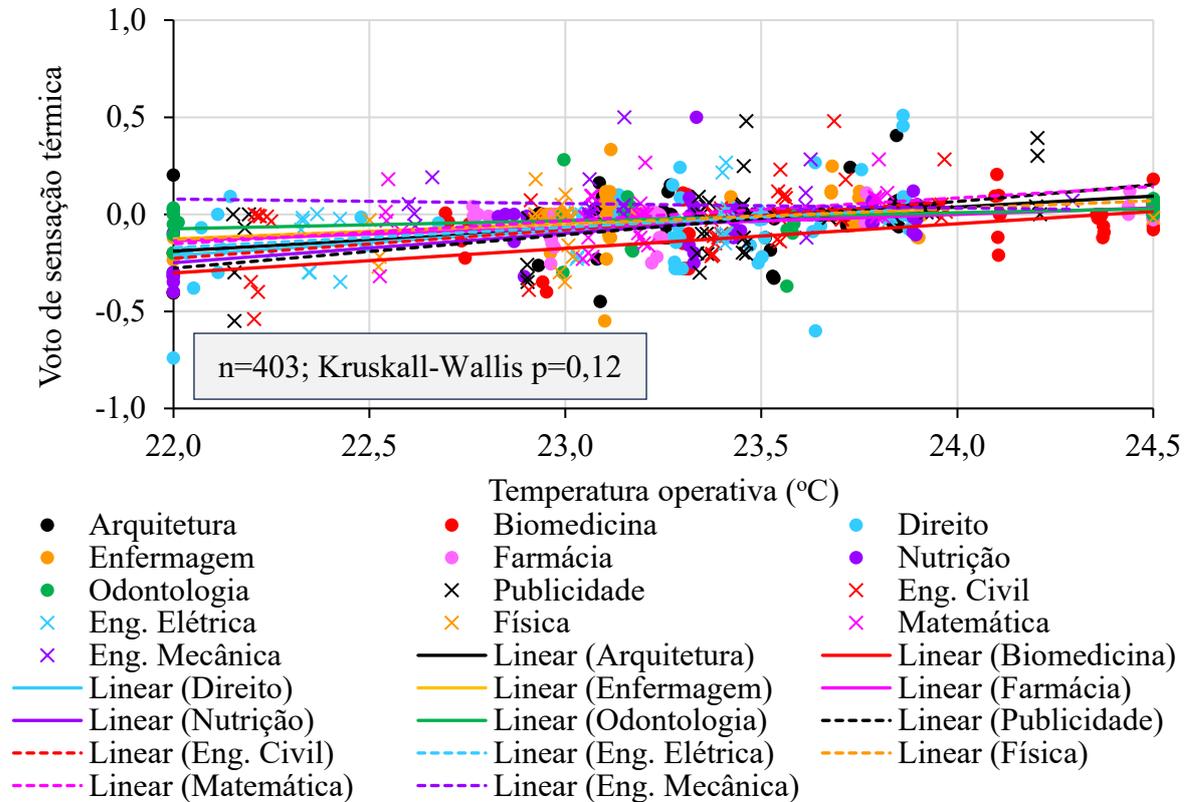
diferentes grupos avaliados neste aspecto socioeconômico. Além disso, quando as salas de aula estavam operando com ar-condicionado, é possível verificar que os modelos de regressão entre o TSV e a temperatura operativa para as mulheres (Figura 86) tinham coeficientes angulares muito similares entre si, indicando que o voto das estudantes mulheres era ainda mais afetado pelas variações de temperatura operativa (Jowkar *et al.*, 2020b).

Figura 83 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com o curso de graduação dos estudantes homens (ventilação natural).



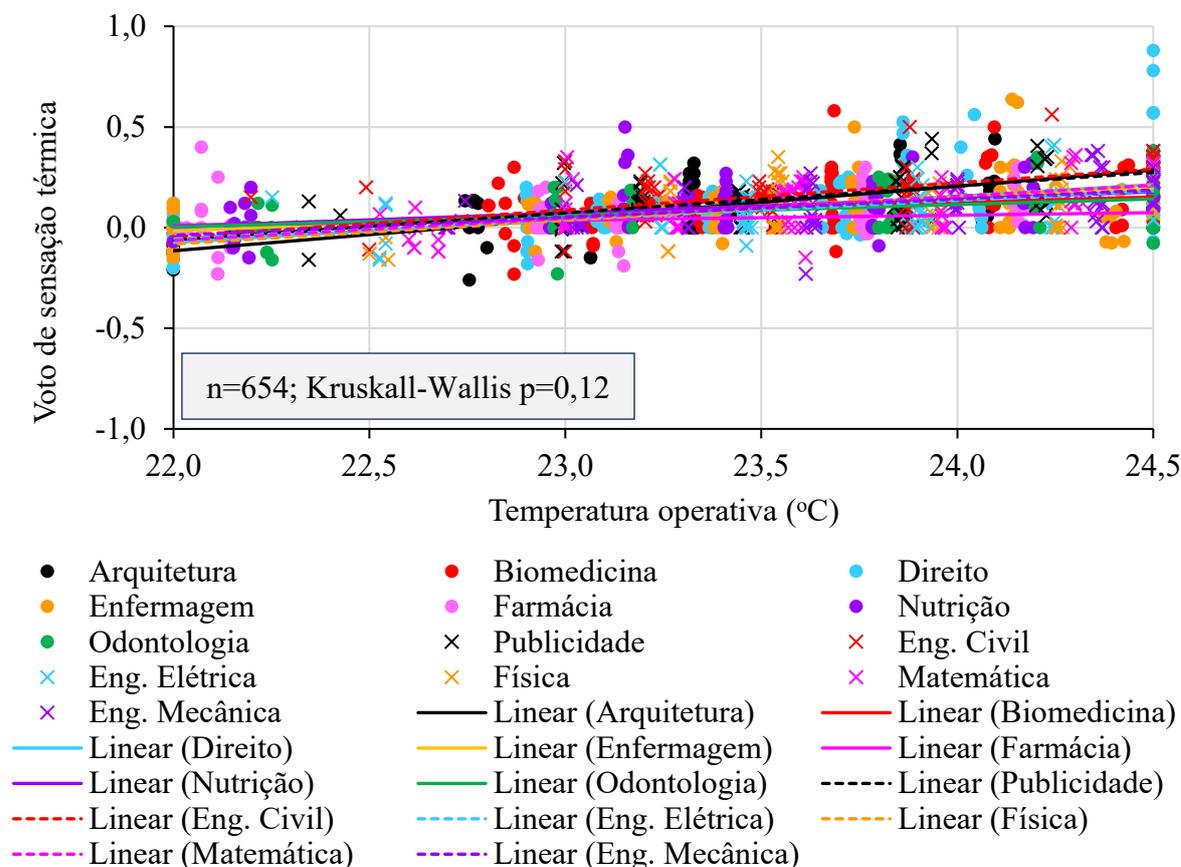
Curso	Equação	R ²	p-valor
Arquitetura	$TSV = 0,15T_{op} - 3,41$	0,21	<0,05
Biomedicina	$TSV = 0,05T_{op} - 0,93$	0,09	<0,05
Direito	$TSV = 0,11T_{op} - 2,48$	0,18	<0,05
Enfermagem	$TSV = 0,05T_{op} - 1,12$	0,04	<0,10
Farmácia	$TSV = 0,04T_{op} - 0,96$	0,11	<0,05
Nutrição	$TSV = 0,17T_{op} - 3,80$	0,52	<0,05
Odontologia	$TSV = 0,03T_{op} - 0,55$	0,04	<0,10
Publicidade	$TSV = 0,11T_{op} - 2,39$	0,18	<0,05
Engenharia Civil	$TSV = 0,14T_{op} - 3,20$	0,31	<0,05
Engenharia Elétrica	$TSV = 0,09T_{op} - 2,04$	0,23	<0,05
Física	$TSV = 0,11T_{op} - 2,43$	0,27	<0,05
Matemática	$TSV = 0,06T_{op} - 1,26$	0,09	<0,05
Engenharia Mecânica	$TSV = 0,07T_{op} - 1,49$	0,13	<0,05

Figura 84 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com o curso de graduação das estudantes mulheres (ventilação natural).



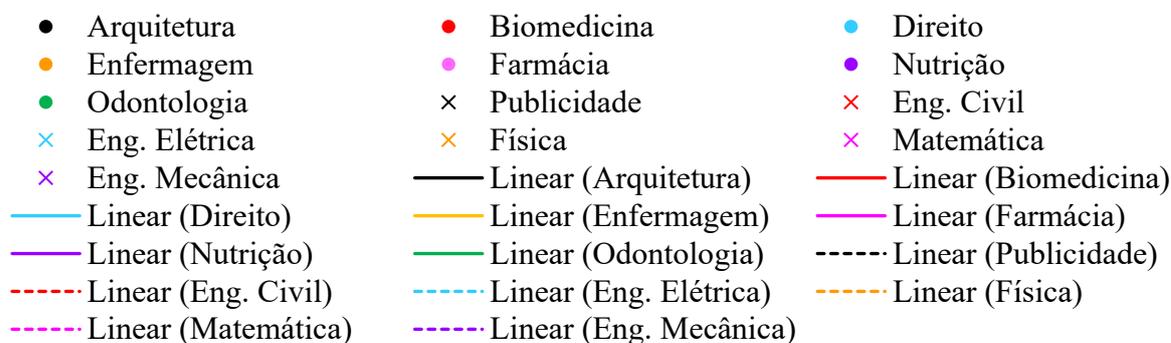
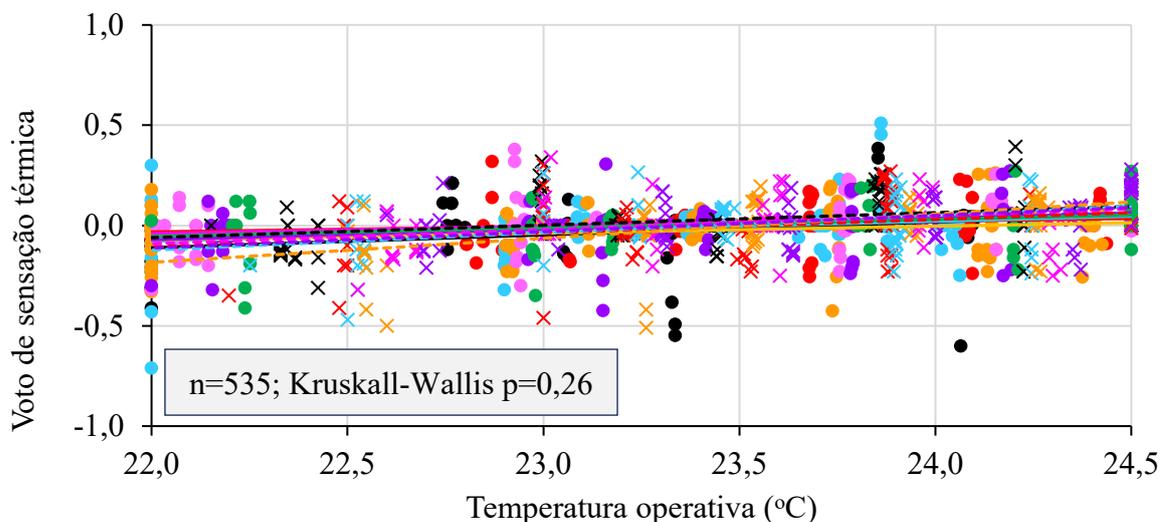
Curso	Equação	R ²	p-valor
Arquitetura	$TSV = 0,10T_{op} - 2,31$	0,09	<0,05
Biomedicina	$TSV = 0,13T_{op} - 3,09$	0,29	<0,05
Direito	$TSV = 0,10T_{op} - 2,28$	0,17	<0,05
Enfermagem	$TSV = 0,05T_{op} - 1,09$	0,05	<0,10
Farmácia	$TSV = 0,07T_{op} - 1,63$	0,16	<0,05
Nutrição	$TSV = 0,14T_{op} - 3,27$	0,38	<0,05
Odontologia	$TSV = 0,04T_{op} - 1,04$	0,11	<0,05
Publicidade	$TSV = 0,16T_{op} - 3,89$	0,29	<0,05
Engenharia Civil	$TSV = 0,10T_{op} - 2,45$	0,17	<0,05
Engenharia Elétrica	$TSV = 0,11T_{op} - 2,52$	0,31	<0,05
Física	$TSV = 0,05T_{op} - 1,13$	0,11	<0,05
Matemática	$TSV = 0,09T_{op} - 2,08$	0,15	<0,05
Engenharia Mecânica	$TSV = 0,01T_{op} - 0,36$	0,01	<0,10

Figura 85 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com o curso de graduação dos estudantes homens (ar-condicionado).



Curso	Equação	R ²	p-valor
Arquitetura	$TSV = 0,16T_{op} - 3,64$	0,45	<0,05
Biomedicina	$TSV = 0,06T_{op} - 1,28$	0,12	<0,05
Direito	$TSV = 0,09T_{op} - 2,14$	0,16	<0,05
Enfermagem	$TSV = 0,09T_{op} - 2,12$	0,31	<0,05
Farmácia	$TSV = 0,02T_{op} - 0,53$	0,03	<0,10
Nutrição	$TSV = 0,06T_{op} - 1,20$	0,10	<0,05
Odontologia	$TSV = 0,06T_{op} - 1,23$	0,12	<0,05
Publicidade	$TSV = 0,13T_{op} - 3,01$	0,47	<0,05
Engenharia Civil	$TSV = 0,15T_{op} - 3,45$	0,42	<0,05
Engenharia Elétrica	$TSV = 0,07T_{op} - 1,45$	0,13	<0,05
Física	$TSV = 0,10T_{op} - 2,27$	0,29	<0,05
Matemática	$TSV = 0,07T_{op} - 1,55$	0,16	<0,05
Engenharia Mecânica	$TSV = 0,09T_{op} - 2,12$	0,29	<0,05

Figura 86 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com o curso de graduação das estudantes mulheres (ar-condicionado).



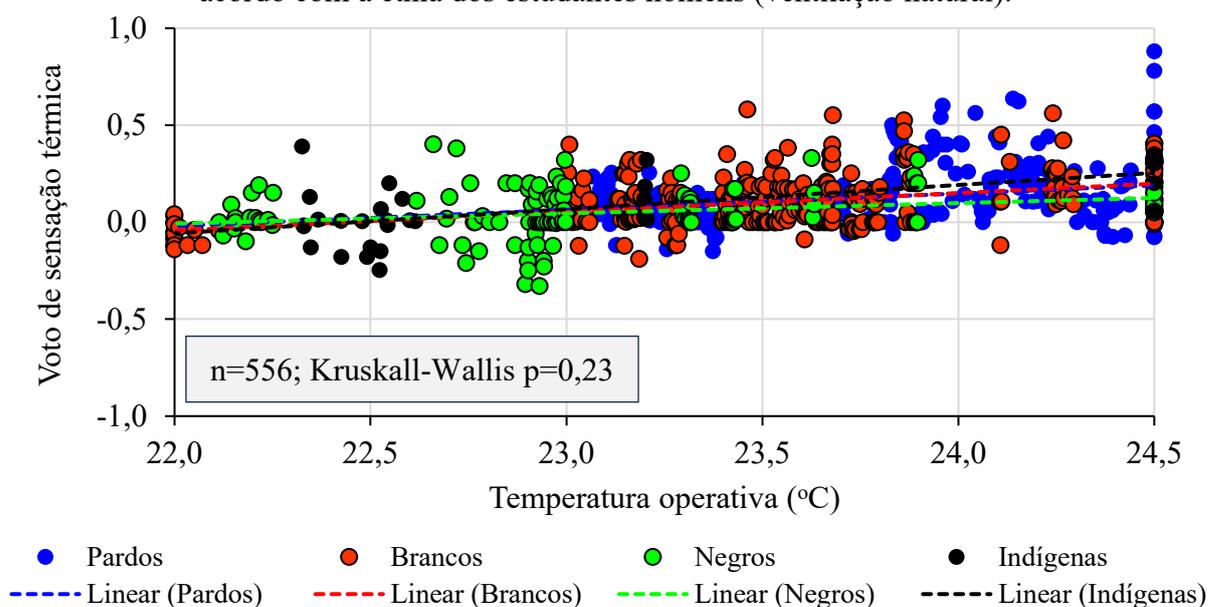
Curso	Equação	R ²	p-valor
Arquitetura	$TSV = 0,07T_{op} - 1,54$	0,06	<0,10
Biomedicina	$TSV = 0,03T_{op} - 0,63$	0,05	<0,10
Direito	$TSV = 0,05T_{op} - 1,24$	0,08	<0,05
Enfermagem	$TSV = 0,03T_{op} - 0,78$	0,06	<0,10
Farmácia	$TSV = 0,04T_{op} - 0,88$	0,06	<0,05
Nutrição	$TSV = 0,05T_{op} - 1,18$	0,09	<0,05
Odontologia	$TSV = 0,04T_{op} - 0,93$	0,07	<0,05
Publicidade	$TSV = 0,06T_{op} - 1,43$	0,11	<0,05
Engenharia Civil	$TSV = 0,04T_{op} - 0,96$	0,03	<0,10
Engenharia Elétrica	$TSV = 0,07T_{op} - 1,44$	0,18	<0,05
Física	$TSV = 0,09T_{op} - 2,19$	0,11	<0,05
Matemática	$TSV = 0,09T_{op} - 1,13$	0,07	<0,05
Engenharia Mecânica	$TSV = 0,07T_{op} - 1,58$	0,15	<0,05

4.7.4 Aspecto D: etnias

Os estudantes também foram agrupados por etnias. As Figuras 87 e 88 apresentam os resultados do teste de Kruskal-Wallis para as salas de aula ventiladas naturalmente e as Figuras 89 e 90 para as salas de aula operando com ar-condicionado. Quando separadas por grupos étnicos, não foram encontradas diferenças significativas entre as sensações térmicas nem para estudantes

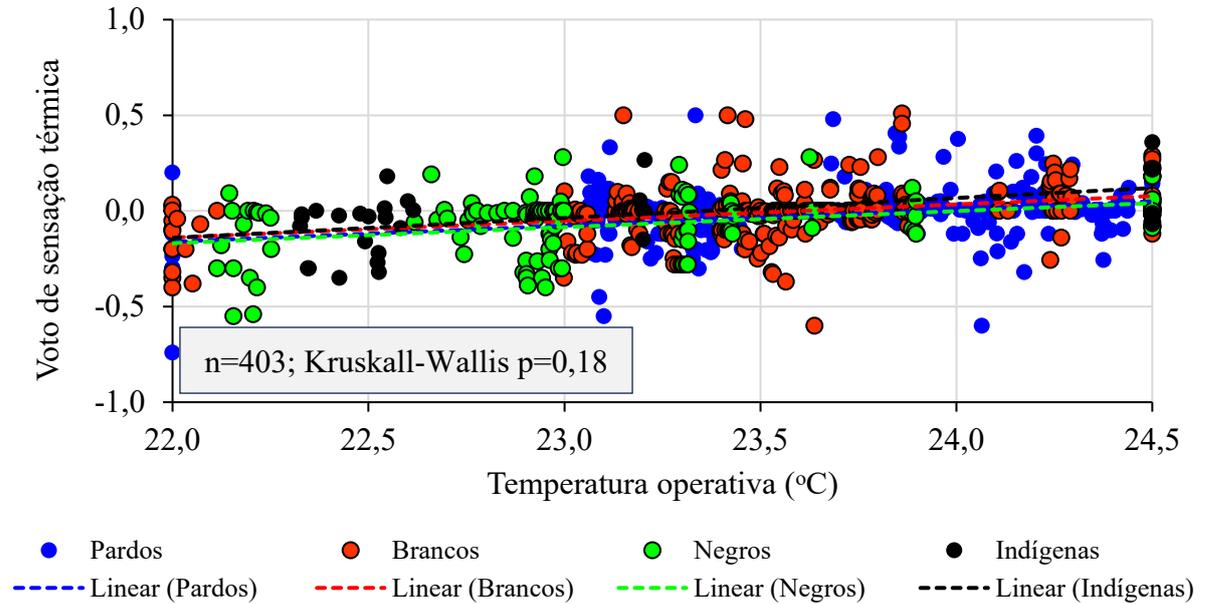
homens e mulheres e nem para os modos de operação de ventilação das salas de aula (ventilação natural ou ar-condicionado). Havenith *et al.* (2020), por outro lado, concluíram que havia diferenças significativas na sensação térmica de asiáticos e europeus. Os resultados de Havenith *et al.* (2020), diferentes dos obtidos neste estudo, podem ser explicados pelo fato dos autores terem realizado o estudo em câmara climática enquanto esta pesquisa foi realizada em um estudo de campo real. Além disso, Havenith *et al.* (2020) avaliaram a percepção de conforto entre dois grupos oriundos de locais com classificações climáticas distintas (asiáticos e europeus). Nesta pesquisa, por outro lado, os indivíduos eram, em sua maioria, oriundos de regiões com classificações climáticas similares, reduzindo os efeitos do histórico térmico de longo prazo (Jowkar *et al.*, 2020a; Ning; Wang; Ji, 2016) nas sensações térmicas dos indivíduos estudados.

Figura 87 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a etnia dos estudantes homens (ventilação natural).



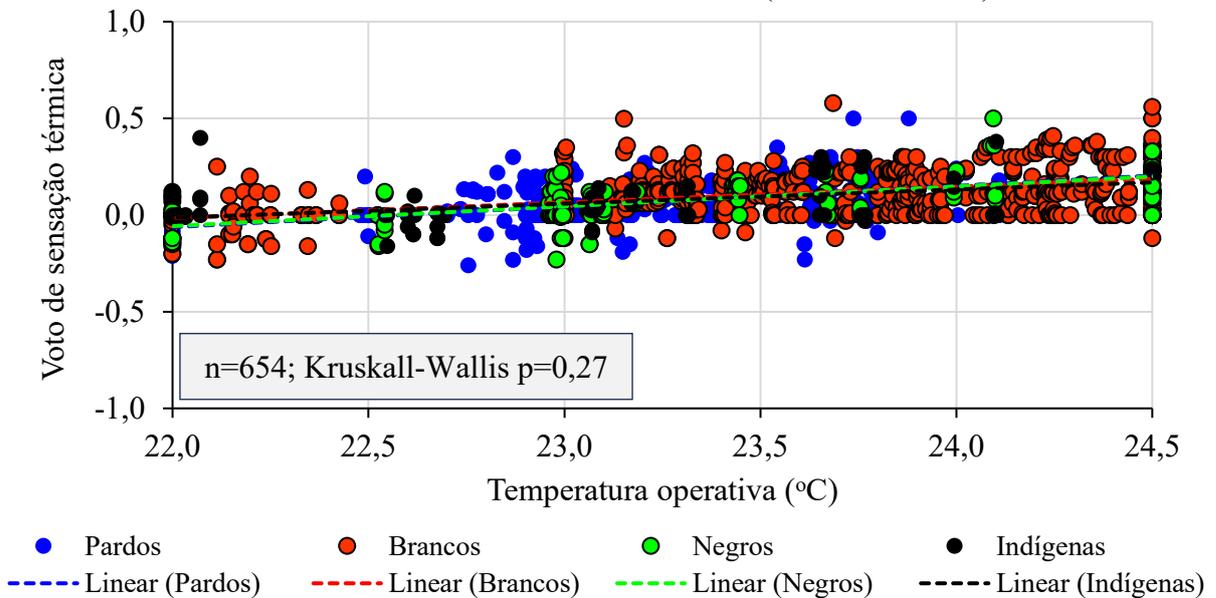
Etnia	Equação	R ²	p-valor
Pardos	$TSV = 0,08T_{op} - 1,86$	0,12	<0,05
Brancos	$TSV = 0,10T_{op} - 2,17$	0,16	<0,05
Negros	$TSV = 0,05T_{op} - 1,17$	0,06	<0,05
Indígenas	$TSV = 0,12T_{op} - 2,80$	0,32	<0,05

Figura 88 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a etnia das estudantes mulheres (ventilação natural).



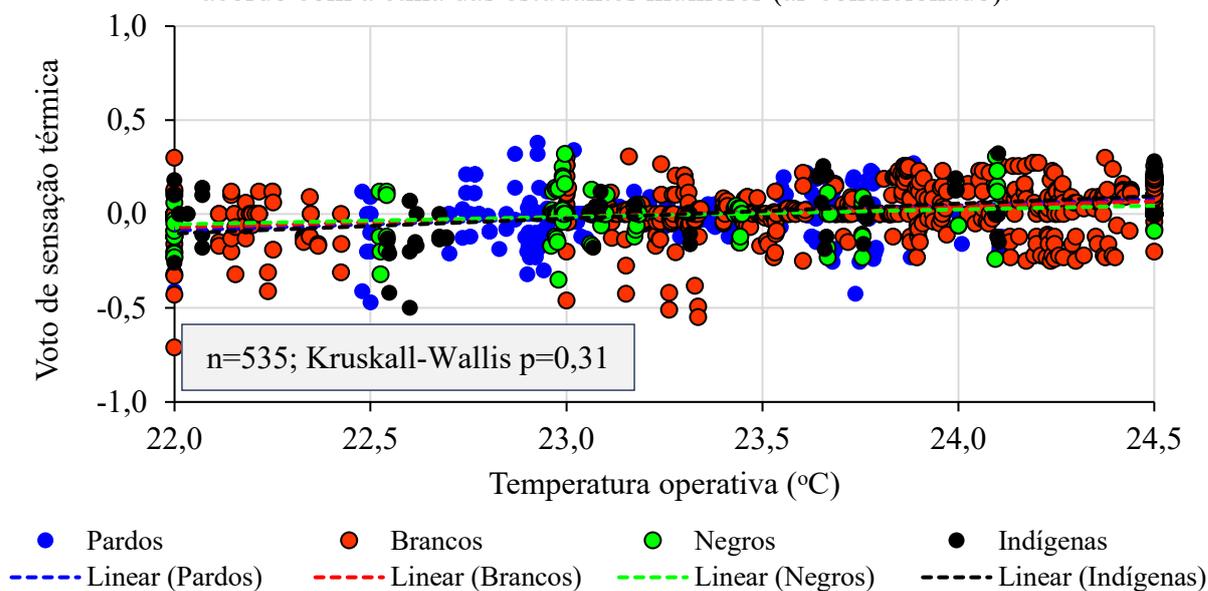
Etnia	Equação	R ²	p-valor
Pardos	$TSV = 0,08T_{op} - 2,02$	0,16	<0,05
Brancos	$TSV = 0,09T_{op} - 2,05$	0,13	<0,05
Negros	$TSV = 0,08T_{op} - 2,02$	0,08	<0,05
Indígenas	$TSV = 0,10T_{op} - 2,44$	0,23	<0,05

Figura 89 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a etnia dos estudantes homens (ar-condicionado).



Etnia	Equação	R ²	p-valor
Pardos	$TSV = 0,08T_{op} - 1,82$	0,17	<0,05
Brancos	$TSV = 0,08T_{op} - 1,81$	0,22	<0,05
Negros	$TSV = 0,10T_{op} - 2,31$	0,31	<0,05
Indígenas	$TSV = 0,07T_{op} - 1,63$	0,20	<0,05

Figura 90 – Relação entre o voto médio de sensação térmica e temperatura operativa de acordo com a etnia das estudantes mulheres (ar-condicionado).



Etnia	Equação	R ²	p-valor
Pardos	$TSV = 0,06T_{op} - 1,41$	0,06	<0,05
Brancos	$TSV = 0,06T_{op} - 1,29$	0,09	<0,05
Negros	$TSV = 0,04T_{op} - 0,93$	0,04	<0,10
Indígenas	$TSV = 0,08T_{op} - 1,85$	0,14	<0,05

Zhang *et al.* (2017) realizaram uma comparação entre o Sul da Europa, a América do Norte e a Ásia em relação aos ambientes térmicos internos, isolamentos das roupas dos ocupantes e sensações térmicas. Concluíram que havia diferenças significativas entre os grupos sendo que os chineses possuíam a temperatura de neutralidade térmica mais baixa em relação aos outros grupos. Diferentemente deste estudo, Zhang *et al.* (2017) analisaram um conjunto de votos de sensação térmica com valores de isolamento de vestimenta que variaram entre 0,17 clo e 2,24 clo. Nesta pesquisa, no entanto, os votos de sensação térmica utilizados para análise eram relacionados a isolamentos de vestimenta que variavam entre 0,51 clo e 0,65 clo. Os isolamentos de vestimenta dos grupos analisados neste estudo eram estatisticamente semelhantes, evitando que as diferenças de sensação térmica pudessem ser causadas pela variação de roupas que ocorre normalmente nos levantamentos de campo, pois os usuários têm liberdade de se adaptarem ao ambiente de acordo com sua preferência pessoal.

4.8 Considerações finais sobre os resultados

A Tabela 15 mostra as temperaturas de conforto e de neutralidade térmica obtidas em estudos de campo desenvolvidos em salas de aula universitárias ventiladas naturalmente. Em todos os

estudos apresentados na Tabela 15 a média da idade dos estudantes variou entre 20,4 anos (China) e 26,0 anos (na Itália). A média de idade dos estudantes da amostra desta tese foi similar a dos outros estudos desenvolvidos em salas de aula universitárias. Todas as temperaturas de conforto mostradas na Tabela 15 foram calculadas utilizando a constante de Griffiths de $0,5^{\circ}\text{C}^{-1}$. Com exceção do estudo desenvolvido no Equador, em todos os outros casos a temperatura de conforto de Griffiths foi superior à temperatura de neutralidade térmica (obtida por meio de regressão linear entre a temperatura operativa e o voto de sensação térmica). Neste estudo, a temperatura de conforto de Griffiths foi superior à temperatura de neutralidade térmica assim como a maioria dos estudos deste tipo para salas de aula. A Tabela 15 também mostra que as temperaturas de conforto de Griffiths e de neutralidade térmica possuem relação com a temperatura externa. É possível perceber que o aumento da temperatura externa, em geral, faz com que a temperatura de neutralidade térmica seja maior, o que pode ser explicado pela adaptação dos estudantes e maneiras de se vestir que são dependentes do clima externo, especialmente nas salas ventiladas naturalmente. As temperaturas de neutralidade térmica dos estudantes de Ponta Grossa (Niza; Luz; Broday, 2023) e de São José foram similares. Os diferentes isolamentos de vestimenta dos estudantes de São José e Ponta Grossa podem ser explicados pela diferença entre as temperaturas médias externas de São José e Ponta Grossa ($1,2^{\circ}\text{C}$), e pelo fato de que o clima de Ponta Grossa é mais seco do que o de São José (umidade relativa do ar 29,3% menor).

As menores temperaturas de neutralidade térmica mostradas na Tabela 15 ocorreram em Mymensingh ($19,4^{\circ}\text{C}$) (Talukdar *et al.*, 2020) e em Joinville ($19,8^{\circ}\text{C}$). No caso de Mymensingh, a umidade relativa do ar e a temperatura do ar externo mais altas podem explicar a temperatura de neutralidade térmica menor. Em Joinville, apesar da temperatura do ar externo mais baixa, a alta umidade relativa do ar (84,9%) associada ao isolamento de vestimenta mais alto pode ser a explicação para a temperatura de neutralidade obtida. Tanto em Joinville como em Mymensingh (Talukdar *et al.*, 2020) a umidade relativa do ar diminuiu a eficiência do resfriamento evaporativo do corpo fazendo com que os estudantes relatassem sensações térmicas positivas na escala de sensação térmica e fazendo com que a temperatura de neutralidade térmica fosse menor.

Tabela 15 – Temperaturas de conforto e de neutralidade térmica para salas de aula universitárias ventiladas naturalmente.

País	Isolamento de vestimenta (clo)	Temperatura externa média (°C)	Clima	Amostra	Temperatura de conforto (°C)	Temperatura de neutralidade (°C)	Fonte
Bangladesh	0,60	31,2	Aw	579	27,8	19,4	Talukdar <i>et al.</i> (2020)
Brasil	0,72	20,9	Cfb	519	*	21,2	Niza, Luz e Broday (2023)
Brasil	0,39	24,0-32,0	Am	1650	*	23,0-24,0	Buonocore <i>et al.</i> (2020)
China	0,48	29,2	Cfa	428	*	26,2	Wang <i>et al.</i> (2021)
Equador	0,85	18,6	Cfb	143	21,3	22,1	Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021)
Equador	0,50	23,1	Af	85	26,4	26,0	Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021)
Espanha	0,68	13,1	Csa	989	*	23,8	Aguilar <i>et al.</i> (2022)
França	0,90	7,3	Cfb	505	23,7	20,5	Lamberti <i>et al.</i> (2023)
Índia	0,36	34,9	Bsh	729	29,8	26,5	Singh <i>et al.</i> (2018)
Itália	0,90	13,8	Csa	815	*	23,6	Torriani <i>et al.</i> (2023)
Itália	0,90	13,1	Csa	815	24,0	23,6	Lamberti <i>et al.</i> (2023)
Brasil (Joinville)	0,89	21,2	Cfa	450	22,8	19,8	Este estudo
Brasil (São José)	0,91	19,7	Cfa	808	22,4	21,4	Este estudo

A Tabela 16 mostra as temperaturas de conforto e de neutralidade térmica para salas de aula funcionando com ar-condicionado. A média de idade dos estudantes dos estudos mostrados na Tabela 16 variou entre 20,0 anos (Malásia) e 24,9 anos (São José). Tanto as temperaturas de conforto como de neutralidade térmica obtidas neste estudo foram menores do que as temperaturas obtidas em outros estudos e isso pode ser explicado pelo isolamento de vestimenta dos estudantes, que neste estudo era maior do que na maioria dos outros estudos apresentados na Tabela 16. Em Kuala Lumpur, na Malásia, com a temperatura externa média 5,9°C maior do que em São José (Zaki *et al.*, 2017), o voto de sensação térmica dos estudantes resultou em uma temperatura de neutralidade térmica de 26,5°C, maior do que neste estudo. Neste estudo, mesmo com isolamento de vestimenta médio de 0,55 clo, a temperatura de neutralidade térmica foi de 22,1°C. Novamente, é possível que a umidade relativa do ar tenha influenciado esses resultados, pois em Kuala Lumpur a umidade relativa do ar era 59,7% (Zaki *et al.*, 2017) enquanto em São José era 75,2%. As temperaturas de neutralidade térmica obtidas para as salas de aula de Joinville e São José são consistentes com as temperaturas de neutralidade obtidas para a Universidade Estadual do Maranhão (Buonocore *et al.*, 2020). Apesar dos autores terem obtido temperatura de neutralidade térmica ligeiramente superior as que foram obtidas neste estudo,

isso pode ser explicado pelo isolamento de vestimenta que era menor nos alunos de São Luís, no Maranhão. Isso evidencia que há possibilidades de adaptação de vestimenta dos alunos para manutenção do conforto térmico mesmo com temperaturas mais altas. Singh *et al.* (2019) revisaram estudos de conforto térmico em salas de aula publicados entre 1968 e 2018 e confirmaram que as temperaturas de neutralidade térmica ficaram entre 18,5°C e 24,5°C.

Tabela 16 – Temperaturas de conforto e de neutralidade térmica para salas de aula universitárias condicionadas artificialmente.

País	Isolamento de vestimenta (clo)	Temperatura externa média (°C)	Clima	Amostra	Temperatura de conforto (°C)	Temperatura de neutralidade (°C)	Fonte
Brasil	0,43	24,0-32,0	Am	1030	*	23,0-24,0	Buonocore <i>et al.</i> (2020)
Colômbia	0,57	30,0	Aw	584	*	26,9	Balbis-Morejón <i>et al.</i> (2020)
China	0,43	28,0	Cwa	982	*	24,1	Fang <i>et al.</i> (2018)
Equador	0,50	27,5	Aw	184	25,4	26,3	Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021)
Equador	0,50	23,1	Af	31	25,2	26,0	Guevara, Soriano e Mino-Rodriguez (2021)
Estados Unidos	*	*	*	1336	*	24,2	Aghniaey <i>et al.</i> (2019)
Japão	0,45	25,5	Cfa	152	26,2	26,3	Zaki <i>et al.</i> (2017)
Malásia	0,53	30,8	Aw	677	25,6	26,5	Zaki <i>et al.</i> (2017)
Malásia	0,61	33,4	Af	196	25,6	26,5	Zaki <i>et al.</i> (2017)
Brasil (Joinville)	0,56	28,8	Cfa	326	24,4	21,8	Este estudo
Brasil (São José)	0,55	27,5	Cfa	589	24,1	22,1	Este estudo

Em relação aos comportamentos adaptativos dos estudantes, ficou claro que a temperatura externa influenciou o funcionamento das salas de aula com ventilação natural ou ar-condicionado. Em geral, nos levantamentos de campo que foram desenvolvidos com temperatura externa acima de 25°C, as salas de aula eram constantemente utilizadas com ar-condicionado ligado. O tipo de vestuário foi fortemente influenciado pela temperatura externa. Em nenhuma das universidades havia códigos rigorosos de vestimenta, o que permitiu que muitos estudantes adotassem livremente o tipo de roupa mais adequado de acordo com a estação do ano. Apesar disso, alguns estudantes tiveram o isolamento de vestimenta influenciado pelos lugares que frequentam antes ou depois das aulas.

Em geral, o modelo PMV/PPD subestimou o percentual de estudantes insatisfeitos com o ambiente térmico e isso foi consistente com os resultados relatados na literatura (Aguilar *et al.*, 2022; Barbosa *et al.*, 2024; Cao *et al.*, 2011; Lu *et al.*, 2018; Papadopoulos; Panaras; Tolis, 2020). Os estudantes de Joinville e São José preferiram temperaturas mais baixas assim como

relatado por outros autores (Balbis-Morejón *et al.*, 2020; Cândido *et al.*, 2010; Lu *et al.*, 2018; Pellegrino; Simonetti; Fournier, 2012). Mesmo quando os estudantes respondiam “neutro” na escala de sensação térmica, alguns deles ainda indicavam que preferiam o ambiente mais frio e outros o contrário. A temperatura preferida pelos estudantes foi maior do que a temperatura de neutralidade térmica (obtidas por meio de regressão linear), principalmente nas salas de aula que operavam com ar-condicionado, isso pode indicar que algumas salas de aula tinham resfriamento desnecessário; ou ainda que há respostas tendenciosas dos estudantes que são relacionadas às expectativas e experiências individuais ou a formas de interpretação diferentes das perguntas no questionário subjetivo.

O contexto socioeconômico, analisado sob diferentes aspectos (renda, curso, trabalho e etnia), não teve influência na sensação térmica dos ocupantes. Este resultado é diferente dos poucos estudos desse tipo que foram encontrados na literatura. Trebilcock *et al.* (2017), diferentemente deste estudo, identificaram correlação entre a condição social de crianças e a sua sensação térmica. Essa diferença entre os resultados desta pesquisa e de Trebilcock *et al.* (2017) pode ser explicada pela baixa capacidade de adaptação das crianças, fato indicado pelos próprios autores e confirmado por Torriani *et al.* (2023), que constataram que estudantes universitários costumam realizar mais ações adaptativas do que crianças. Além disso, as correlações encontradas por Trebilcock *et al.* (2017) (entre a sensação térmica e o contexto social) foram baixas ($R^2 < 0,50$) e somente ocorreram durante o inverno, o que pode estar relacionado com o fato de crianças em vulnerabilidade social não terem acesso a acessórios que aumentam o isolamento de vestimenta (como luvas e meias mais grossas, por exemplo). Na primavera, os autores não identificaram essa correlação. Apesar de afirmarem que havia relação entre a condição socioeconômica e o conforto térmico dos estudantes, Montazami *et al.* (2017) identificaram uma relação menor do que 14,0%. Além disso, os dois estudos (Montazami *et al.*, 2017; Trebilcock *et al.*, 2017) foram desenvolvidos com crianças. Essas supostas relações entre a sensação térmica e o contexto socioeconômico podem ser resultado da interação entre as diversas variáveis envolvidas nos estudos de conforto térmico que influenciam de formas diferentes a sensação térmica. Os parâmetros pessoais e os comportamentos adaptativos podem ter papel decisivo na avaliação de supostas diferenças de sensação térmica associadas a contextos socioeconômicos. Neste estudo, para atenuar esses efeitos, o grupo de votos de sensação térmica avaliados estavam submetidos a condições pessoais e ambientais similares, supostamente esse pode ter sido o motivo pelo qual houve diferenças entre os resultados obtidos neste estudo e o de outros autores.

5. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi analisar o conforto térmico de estudantes em salas de aula de universidades localizadas em Joinville/SC e São José/SC que operam em condições de ventilação natural e condicionamento artificial. A pesquisa envolveu duas grandes partes: o estudo de campo e a análise dos dados coletados. Inicialmente, um protocolo experimental foi definido para padronizar a coleta dos dados de campo. O estudo de campo ocorreu entre os meses de setembro de 2022 e julho de 2023, com pausas durante o recesso acadêmico. Foi possível coletar dados de campo em 140 dias e em todas as estações do ano. O estudo de campo ocorreu em uma universidade localizada em Joinville e outra em São José. Ao todo foram obtidas 13200 respostas válidas nos questionários aplicados, tendo a participação de 2034 alunos. Foram coletados dados de variáveis ambientais externas a partir de estações climáticas existentes, medidas de variáveis ambientais internas com uso de estações microclimáticas e, por meio da aplicação de questionários, foram coletadas respostas sobre sensação térmica, preferência térmica, características e hábitos pessoais dos estudantes.

Os dados coletados em campo foram organizados em uma planilha eletrônica para prosseguir com as outras análises que foram propostas para responder aos outros objetivos específicos da pesquisa. Cada resposta dos estudantes foi associada aos seus hábitos e preferências pessoais, suas características pessoais e de vestimenta e às respectivas condições ambientais internas e externas que representavam o momento da resposta do estudante. Assim, cada resposta no questionário tornou-se um ponto amostral do banco de dados que foi utilizado nesta pesquisa.

Inicialmente, os votos de sensação térmica dos estudantes foram comparados com os modelos de conforto térmico existentes (PMV/PPD e adaptativo). A maior parte dos dados utilizados para os modelos de conforto existentes foi obtida em câmaras climáticas (PMV/PPD) ou em escritórios (modelo adaptativo). Por esta razão, essa avaliação foi necessária para verificar o uso dos modelos existentes para previsão do conforto térmico de estudantes universitários. O modelo de conforto térmico PMV/PPD não foi capaz de prever o voto médio dos estudantes na maioria dos casos. Isso pode ser explicado pelo fato de todos os estudantes terem acesso livre a ações adaptativas pessoais e ambientais. Utilizando o método de Griffiths ($G=0,5^{\circ}\text{C}^{-1}$) constatou-se que as temperaturas externas influenciaram fortemente as temperaturas de conforto nas salas de aula que operavam com ventilação natural. Durante a operação com ventilação natural, os estudantes, em geral, se mostravam mais satisfeitos com o ambiente térmico. Quando as salas operavam com ar-condicionado os estudantes eram menos

tolerantes a variações da temperatura interna. Estima-se que isto esteja relacionado com as expectativas sobre as condições do ambiente térmico.

Em todos os casos (ventilação natural e ar-condicionado) a temperatura preferida pelos estudantes foi superior à temperatura de neutralidade térmica obtida pelo modelo PMV/PPD. Nas salas de aula operando com ar-condicionado, as temperaturas preferidas médias foram 2,3°C e 1,5°C maiores do que as temperaturas de neutralidade térmica estimadas pelo modelo PMV/PPD em Joinville e São José, respectivamente. O fato de a temperatura preferida ser superior à temperatura de neutralidade térmica indica que as salas de aula operando com ar-condicionado podem ter suas temperaturas ajustadas. A capacidade adaptativa dos estudantes possibilita que, durante a operação com ar-condicionado, temperaturas ligeiramente maiores sejam preferidas possibilitando reduzir o consumo de energia sem que o conforto térmico dos estudantes seja prejudicado.

Para responder ao segundo objetivo específico, foram desenvolvidos modelos de conforto térmico analítico e adaptativo para os estudantes de Joinville e de São José. Os primeiros modelos de conforto térmico basearam-se nas regressões lineares entre os votos de sensação térmica (em escala de sete pontos) e na temperatura operativa das salas de aula. Todos os modelos de conforto (obtidos para neutralidade térmica) foram adequados para prever a sensação térmica dos estudantes ao nível de significância de 5%. No entanto, ao comparar com os votos de preferência térmica dos estudantes, percebeu-se que as temperaturas de neutralidade térmica eram menores do que as temperaturas preferidas. A literatura aponta que indivíduos de climas tropicais tendem a possuir temperaturas neutras mais baixas e isso está de acordo com o que foi encontrado neste estudo. No entanto, os resultados de temperaturas neutras mais baixas podem indicar que os modelos de conforto térmico não conseguiram prever os comportamentos adaptativos adequadamente.

Para o desenvolvimento dos modelos de conforto térmico adaptativo dos estudantes de Joinville e São José, foram adotadas duas possibilidades. A primeira com o uso da temperatura de neutralidade térmica para os votos de sensação térmica que consideravam as condições térmicas confortáveis e a segunda para as temperaturas de conforto calculadas por meio do método de Griffiths. Esses modelos adaptativos foram obtidos a partir da regressão linear entre as temperaturas de neutralidade térmica (ou de conforto térmico) e a temperatura predominante do ar externo. Os modelos adaptativos com base nas temperaturas de neutralidade térmica não conseguiram prever o conforto térmico dos estudantes adequadamente ($p\text{-valor} > 0,10$). Possivelmente, isso ocorreu porque os estudantes interpretaram a resposta “neutro” ($TSV=0$ na escala de sensação térmica) de formas distintas. Isso foi verificado porque em muitos casos, os

estudantes indicavam desconforto por frio ou por calor ao mesmo tempo que preferiam que o ambiente permanecesse como estava.

Os modelos de conforto térmico adaptativos baseados nas temperaturas de conforto de Griffiths foram adequados para prever o conforto térmico dos estudantes em todos os casos (p -valor $<0,05$). Esses modelos foram baseados na regressão entre a temperatura de conforto de Griffiths e a temperatura média predominante do ar externo. Especialmente para as salas de aula de São José funcionando com ventilação natural, o modelo de conforto térmico apresentou coeficiente angular superior aos valores encontrados na ASHRAE 55 e na literatura. O coeficiente angular indica uma forte relação entre a temperatura de conforto e a temperatura média predominante do ar externo. Essa relação pode ser explicada pela alta capacidade de adaptação do vestuário dos estudantes, pois não havia códigos rígidos de vestimenta para acesso às salas de aula.

A partir da regressão linear entre as temperaturas de neutralidade térmica (ou de conforto térmico) pela temperatura média predominante do ar externo foi possível obter os modelos de conforto térmico adaptativo com faixas de conforto térmico. Para a obtenção das faixas de conforto térmico, foram calculados os deslocamentos das temperaturas de neutralidade térmica (ou de conforto térmico) que correspondiam aos percentuais de 80% e 90% dos estudantes em situação de conforto térmico. O modelo de regressão logística foi adotado para a relação entre o percentual de desconforto térmico real e as diferenças entre as temperaturas operativas. Percebeu-se que, em todos os casos, o modelo de regressão logística foi adequado para prever a relação entre o desconforto térmico e as diferenças entre as temperaturas de neutralidade térmica (ou de conforto térmico).

Constatou-se que, em todos os modelos de conforto térmico adaptativo, as faixas de conforto eram localizadas em região ligeiramente abaixo do modelo adaptativo da ASHRAE (2020) o que significa que os estudantes, em geral, preferiam ambientes mais frios. A faixa mais estreita dos modelos de conforto térmico adaptativo obtidos nesta tese demonstra que os estudantes eram sensíveis às variações da temperatura externa, especialmente quando as salas de aula eram ventiladas naturalmente.

Com base na revisão de literatura, foi possível perceber que existem diversos estudos de conforto térmico para vários tipos de edificação. No entanto, poucos estudos avaliaram as possíveis diferenças na sensação térmica entre contextos socioeconômicos distintos. Assim, para responder ao objetivo geral desta tese, o banco de dados obtidos no estudo de campo foi adaptado. Foram selecionadas respostas de estudantes que estavam submetidas às mesmas condições pessoais e ambientais para evitar que outras variáveis pudessem interferir no voto de

sensação térmica. Posteriormente, os votos foram agrupados por contextos socioeconômicos: faixa de renda, situação de trabalho, curso de graduação e etnias. A partir do teste estatístico de Kruskal-Wallis, a sensação térmica dos aspectos de contextos socioeconômicos foi comparada. Em todos os casos, constatou-se que não havia diferenças significativas entre os votos de sensação térmica dos estudantes e os contextos socioeconômicos avaliados. Este resultado foi diferente dos obtidos em outros estudos da literatura. Possivelmente, as diferenças relatadas na literatura podem ser atribuídas ao fato de que nenhum estudo avaliou votos de sensação térmica submetidos a condições ambientais e pessoais similares. As variáveis ambientais podem influenciar a resposta dos indivíduos fazendo surgir diferenças na sensação térmica entre aspectos socioeconômicos, mas essas diferenças podem não representar adequadamente a realidade.

O desenvolvimento deste trabalho permitiu identificar relações para o conforto térmico humano que até então não haviam sido estudadas adequadamente. Foi possível obter um conjunto de dados que poderá servir para responder outras perguntas relacionadas ao conforto térmico de estudantes universitários. Considerando as limitações dessa pesquisa, os resultados evidenciam que não há relação entre os votos de sensação térmica e os contextos socioeconômicos dos estudantes universitários. A partir dos resultados obtidos, espera-se que os modelos de conforto térmico sejam adequados para cada tipo e uso da edificação servindo de subsídios para que profissionais analisem adequadamente o projeto de novos espaços.

5.1 Limitações da pesquisa

Os seguintes fatores podem ser mencionados como limitações deste trabalho:

- De acordo com a dinâmica de ocupação das salas de aula, não foi possível acompanhar os mesmos estudantes nos dois semestres letivos que envolveram o estudo de campo. Por exemplo, a sala que recebeu o estudo de campo em 2022 tinha outros estudantes em 2023;
- Em alguns levantamentos do estudo de campo, não foi possível finalizar a coleta de respostas ao longo de toda a aula. Isso ocorreu a pedido dos professores em função de algumas atividades pedagógicas que eram realizadas. Para minimizar a interferência do estudo de campo nas atividades didático-pedagógicas, todos os pedidos deste tipo foram atendidos;

- Não foi possível realizar a mesma quantidade de levantamentos de campo em todas as estações do ano. O recesso acadêmico do verão diminuiu a quantidade de dias que foram realizados levantamentos de campo nesta estação;
- Há diversas limitações inerentes ao processo de coleta das respostas subjetivas. Entre as principais, pode-se destacar: a estimativa de condições pessoais (como peso e altura) que foi obtida pela resposta direta dos estudantes e pode não representar a realidade; a tendência de que nas últimas respostas os estudantes poderiam estar cansados e não responder todas as perguntas com atenção.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

A partir do desenvolvimento desta pesquisa, para estudos futuros, sugere-se:

- Realizar uma investigação para estimar a constante de Griffiths para salas de aula. Neste trabalho, a temperatura de conforto de Griffiths resultou em um modelo adaptativo que melhor descrevia o conforto térmico dos estudantes em sala de aula. Apesar disso, a constante de Griffiths utilizada neste estudo foi a mesma indicada na literatura. Não foram encontrados valores específicos da constante de Griffiths para salas de aula;
- Investigar o conforto térmico e o contexto socioeconômico em outras tipologias de edificação, como escritórios, por exemplo. Estudos que avaliaram as diferenças entre o conforto térmico para contextos socioeconômicos diferentes ainda são raros na literatura;
- Realizar um estudo em salas de aula com ambiente semicontrolado (alterando temperaturas e velocidades do ar) com os mesmos estudantes para avaliar os efeitos nas sensações térmicas.

Referências

- ABREU-HARBICH, L. V.; CHAVES, V. L. A.; BRANDSTETTER, M. C. G. O. Evaluation of strategies that improve the thermal comfort and energy saving of a classroom of an institutional building in a tropical climate. **Building and Environment**, v. 135, p. 257–268, 1 maio 2018.
- AGHNIAEY, S.; LAWRENCE, T. M.; SHARPTON, T. N.; DOUGLASS, S. P.; OLIVER, T.; SUTTER, M. Thermal comfort evaluation in campus classrooms during room temperature adjustment corresponding to demand response. **Building and Environment**, v. 148, p. 488–497, 15 jan. 2019.
- AGUILAR, A. J.; DE LA HOZ-TORRES, M. L.; MARTÍNEZ-AIRES, M. D.; RUIZ, D. P. Thermal Perception in Naturally Ventilated University Buildings in Spain during the Cold Season. **Buildings**, v. 12, n. 7, 1 jul. 2022.
- AL HARR, Y.; ARIF, M.; KAUSHIK, A.; MAZROEI, A.; KATAFYGIOTOU, M.; ELSARRAG, E. Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature. **Building and Environment**, v. 105, p. 369-389, 15 ago. 2016.
- AL-KHATRI, H.; ALWETAISHI, M.; GADI, M. B. Exploring thermal comfort experience and adaptive opportunities of female and male high school students. **Journal of Building Engineering**, v. 31, 1 set. 2020.
- ALLAB, Y.; PELLEGRINO, M.; GUO, X.; NEFZAOU, E.; KINDINIS, A. Energy and comfort assessment in educational building: Case study in a French university campus. **Energy and Buildings**, v. 143, p. 202–219, 15 maio 2017.
- ANTONIADOU, P.; PAPADOPOULOS, A. M. Development of an integrated, personalized comfort methodology for office buildings. **Energies**, v. 10, n. 8, 1 ago. 2017.
- ARYAL, A.; CHAIWIWATWORAKUL, P.; CHIRARATTANANON, S.; WONGSUWAN, W. Subjective assessment of thermal comfort by radiant cooling in a tropical hot humid climate. **Energy and Buildings**, v. 254, p. 111601, 2022.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. ANSI/ASHRAE Standard 55 – 2020. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2020.
- BALBIS-MOREJÓN, M.; REY-HERNÁNDEZ, J. M.; AMARIS-CASTILLA, C.; VELASCO-GÓMEZ, E.; SAN JOSÉ-ALONSO, J. F.; REY-MARTÍNEZ, F. J. Experimental study and analysis of thermal comfort in a university campus building in tropical climate. **Sustainability**, v. 12, n. 21, p. 1–18, 2020.
- BARBADILLA-MARTÍN, E.; GUADIX MARTÍN, J.; SALMERÓN LISSÉN, J. M.; SÁNCHEZ RAMOS, J.; ÁLVAREZ DOMÍNGUEZ, S. Assessment of thermal comfort and energy savings in a field study on adaptive comfort with application for mixed mode offices. **Energy and Buildings**, v. 167, p. 281–289, 15 maio 2018.

BARBIC, F.; MINONZIO, M.; CAIRO, B.; SHIFFER, D.; CERINA, L.; VERZELETTI, P.; BADILINI, F.; VAGLIO, M.; PORTA, A.; SANTAMBROGIO, M.; GATTI, R.; RIGO, S.; BISOGLIO, A.; FURLAN, R. Effects of a cool classroom microclimate on cardiac autonomic control and cognitive performances in undergraduate students. **Science of the Total Environment**, v. 808, p. 152005, 2022.

BARBOSA, E. F. T.; LABAKI, L. C.; CASTRO, A. P. A. S.; LOPES, F. S. D. Energy Efficiency and Thermal Comfort Analysis in a Higher Education Building in Brazil. **Sustainability**, v. 16, n. 1, p. 462, 4 jan. 2024.

BHANDARI, N.; TADEPALLI, S.; GOPALAKRISHNAN, P. Influence of non-uniform distribution of fan-induced air on thermal comfort conditions in university classrooms in warm and humid climate, India. **Building and Environment**, v. 238, 15 jun. 2023.

BIENVENIDO-HUERTAS, D.; RUBIO-BELLIDO, C.; PÉREZ-FARGALLO, A.; PULIDO-ARCAS, J. A. Energy saving potential in current and future world built environments based on the adaptive comfort approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, 10 mar. 2020.

BILÉSIMO, T. L.; CUSTÓDIO, D. A.; GHISI, E. Conforto térmico de crianças em salas de aula: uma revisão sistemática de literatura. XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído/ XII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Palmas-TO. **Anais...** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2022.

BUENO, A. M.; LUZ, I. M.; NIZA, I. L.; BRODAY, E. E. Hierarchical and K-means clustering to assess thermal dissatisfaction and productivity in university classrooms. **Building and Environment**, v. 233, 1 abr. 2023.

BUONOCORE, C.; DE VECCHI, R.; SCALCO, V.; LAMBERTS, R. Influence of recent and long-term exposure to air-conditioned environments on thermal perception in naturally-ventilated classrooms. **Building and Environment**, v. 156, p. 233–242, 1 jun. 2019.

BUONOCORE, C.; DE VECCHI, R.; SCALCO, V.; LAMBERTS, R. Thermal preference and comfort assessment in air-conditioned and naturally-ventilated university classrooms under hot and humid conditions in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 211, 15 mar. 2020.

BURATTI, C.; RICCIARDI, P. Adaptive analysis of thermal comfort in university classrooms: Correlation between experimental data and mathematical models. **Building and Environment**, v. 44, n. 4, p. 674–687, abr. 2009.

CAMPANO, M. Á.; DOMÍNGUEZ-AMARILLO, S.; FERNÁNDEZ-AGÜERA, J.; SENDRA, J. J. Thermal perception in mild climate: Adaptive thermal models for schools. **Sustainability**, v. 11, n. 14, 1 jul. 2019.

CÂNDIDO, C.; DEAR, R. J.; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and Environment**, v. 45, n. 1, p. 222–229, jan. 2010.

CAO, B.; ZHU, Y.; OUYANG, Q.; ZHOU, X.; HUANG, L. Field study of human thermal comfort and thermal adaptability during the summer and winter in Beijing. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 5, p. 1051-1056, 1 maio 2011.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN). **Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings- addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.** EN-15251. Comité Européen De Normalisation, Bruxelles, 2017.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN). **Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.** EN-16798. Comité Européen De Normalisation, Bruxelles, 2019.

CHAUDHURI, T.; ZHAI, D.; SOH, Y. C.; LI, H.; XIE, L. Random forest based thermal comfort prediction from gender-specific physiological parameters using wearable sensing technology. **Energy and Buildings**, v. 166, p. 391–406, 1 maio 2018.

CHEN, D.; CHEN, H. W. Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901-2010. **Environmental Development**, v. 6, n. 1, p. 69–79, 2013.

COSTA, M. L.; FREIRE, M. R.; KIPERSTOK, A. Strategies for thermal comfort in university buildings - The case of the faculty of architecture at the Federal University of Bahia, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 239, p. 114–123, 1 jun. 2019.

DAI, J.; JIANG, S. Passive space design, building environment and thermal comfort: A university building under severe cold climate, China. **Indoor and Built Environment**, v. 30, n. 9, p. 1323–1343, 2021.

DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, **ASHRAE Technical Data Bulletin**, v. 14, n. 1, p. 27–49, 1998.

DEAR, R.; KIM, J.; CANDIDO, C.; DEUBLE, M. Adaptive thermal comfort in australian school classrooms. **Building Research and Information**, v. 43, n. 3, p. 383–398, 4 maio 2015.

DE LA HOZ-TORRES, M. L.; AGUILAR, A. J.; RUIZ, D. P.; MARTÍNEZ-AIRES, M. D. An investigation of indoor thermal environments and thermal comfort in naturally ventilated educational buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 84, 108677, 1 maio 2024.

DRAGANOVA, V. Y.; YOKOSE, H.; TSUZUKI, K.; NABESHIMA, Y. Field study on nationality differences in adaptive thermal comfort of university students in dormitories during summer in Japan. **Atmosphere**, v. 12, n. 5, 2021.

ELNAKLAH, R.; AYYAD, Y.; ALNUSAIRAT, S.; ALWAER, H.; ALSHBOUL, A. A Comparison of Students' Thermal Comfort and Perceived Learning Performance between Two Types of University Halls: Architecture Design Studios and Ordinary Lecture Rooms during the Heating Season. **Sustainability**, v. 15, n. 2, 1 jan. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional. **Relatório**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em: 11 jul 2022

FABOZZI, M.; DAMA, A. Field study on thermal comfort in naturally ventilated and air-conditioned university classrooms. **Indoor and Built Environment**, v. 29, n. 6, p. 851–859, 1 jul. 2020.

FANG, Z.; ZHANG, S.; CHENG, Y.; FONG, A. M. L.; OLADOKUN, M. O.; LIN, Z.; WU, H. Field study on adaptive thermal comfort in typical air conditioned classrooms. **Building and Environment**, v. 133, p. 73–82, 1 abr. 2018.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering**. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; WREGE, M. S. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no Estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 80–92, 2016.

GAO, S.; YANG, L.; LI, Y.; LIU, S.; ZHANG, H.; ARENS, E.; ZHAI, Y. Gender and age effects on metabolic rates of office work, housework, and different walking speeds. **Energy and Buildings**, v. 298, 113551, 1 nov. 2023.

GUEVARA, G.; SORIANO, G.; MINO-RODRIGUEZ, I. Thermal comfort in university classrooms: An experimental study in the tropics. **Building and Environment**, v. 187, 107430, 1 jan. 2021.

GUTIERREZ-ALIAGA, L.; WILLIAMS, E. Co-alignment of comfort and energy saving objectives for U.S. office buildings and restaurants. **Sustainable Cities and Society**, v. 27, p. 32–41, 1 nov. 2016.

HADDAD, S.; OSMOND, P.; KING, S. Revisiting thermal comfort models in Iranian classrooms during the warm season. **Building Research and Information**, v. 45, n. 4, p. 457–473, 19 maio 2017.

HASSANAIN, M. A.; IFTIKHAR, A. Framework model for post-occupancy evaluation of school facilities. **Structural Survey**, v. 33, n. 4–5, p. 322–336, 9 nov. 2015.

HAMZAH, B., ISHAK, M.T., BEDDU, S.; OSMAN, M.Y. Thermal comfort analyses of naturally ventilated university classrooms, **Structural Survey**, v. 34, n. 4-5, p. 427-445, 8 ago. 2016.

HAVENITH, G.; GRIGGS, K.; QIU, Y.; DORMAN, L.; KULASEKARAN, V.; HODDER, S. Higher comfort temperature preferences for anthropometrically matched Chinese and Japanese versus white-western-middle-European individuals using a personal comfort / cooling system. **Building and Environment**, v. 183, 107162, 1 out. 2020.

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

HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U.; SHAUGHNESSY, R. J. Effects of classroom ventilation rate and temperature on students' test scores. **PLoS ONE**, v. 10, n. 8, 28 ago. 2015.

HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U.; SHAUGHNESSY, R. J.; COLE, E. C.; TOYINBO, O.; MOSCHANDREAS, D. J. An assessment of indoor environmental quality in schools and its association with health and performance. **Building and Environment**, v. 93, n. 1, p. 35–40, 1 nov. 2015.

HU, J.; HE, Y.; HAO, X.; LI, N.; SU, Y.; QU, H. Optimal temperature ranges considering gender differences in thermal comfort, work performance, and sick building syndrome: A winter field study in university classrooms. **Energy and Buildings**, v. 254, 111554, 1 jan. 2022.

HUMPHREYS, M. A. Outdoor temperatures and comfort indoors. **Building Research and Practice**, v. 6, n. 2, p. 92–105. 1978.

HUMPHREYS, M. A.; RIJAL, H. B.; NICOL, J. F. Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database. *Building and Environment*. **Building and Environment**, v. 63, p. 40–55, 1 maio 2013.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Tracking Buildings. **Relatório**. Paris, 2021a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2021>. Acesso em: 11 jul 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Tracking report: Cooling. **Relatório**. Paris, 2021b. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/cooling>. Acesso em: 11 jul 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Tracking Buildings. **Relatório**. Paris, 2023a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2023>. Acesso em: 20 jan. 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Relatório**. Paris, 2023b. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>, License: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A). Acesso em: 20 jan. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities**. ISO 7726:1998. Genebra, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. ISO 7730:2005. Genebra, 2005.

INDRAGANTI, M.; OOKA, R.; RIJAL, H. B.; BRAGER, G. S. Adaptive model of thermal comfort for offices in hot and humid climates of India. **Building and Environment**, v. 74, p. 39–53, 2014.

IYOHO, A. E.; NG, L. J.; MACFADDEN, L. Modeling of gender differences in thermoregulation. **Military Medicine**, v. 182, p. 295–303, 1 mar. 2017.

JIANG, J.; WANG, D.; LIU, Y.; DI, Y.; LIU, J. A field study of adaptive thermal comfort in primary and secondary school classrooms during winter season in Northwest China. **Building and Environment**, v. 175, 106802, 15 maio 2020.

JIANG, J.; WANG, D.; LIU, Y.; DI, Y.; LIU, J. A holistic approach to the evaluation of the indoor temperature based on thermal comfort and learning performance. **Building and Environment**, v. 196, 107803, 2021.

JIANG, J.; WANG, D.; LIU, Y.; XU, Y.; LIU, J. A study on pupils' learning performance and thermal comfort of primary schools in China. **Building and Environment**, v. 134, p. 102–113, 15 abr. 2018.

JING, S.; LEI, Y.; WANG, H.; SONG, C.; YAN, X. Thermal comfort and energy-saving potential in university classrooms during the heating season. **Energy and Buildings**, v. 202, 109390, 1 nov. 2019.

JL, Y.; WANG, Z. Thermal adaptations and logistic regression analysis of thermal comfort in severe cold area based on two case studies. **Energy and Buildings**, v. 205, 109560, 15 dez. 2019.

JOWKAR, M.; DEAR, R.; BRUSEY, J. Influence of long-term thermal history on thermal comfort and preference. **Energy and Buildings**, v. 210, 109685, 1 mar. 2020.

JOWKAR, M.; RIJAL, H. B.; BRUSEY, J.; MONTAZAMI, A.; CARLUCCI, S.; LANSDOWN, T. C. Comfort temperature and preferred adaptive behaviour in various classroom types in the UK higher learning environments. **Energy and Buildings**, v. 211, 109814, 15 mar. 2020a.

JOWKAR, M.; RIJAL, H. B.; MONTAZAMI, A.; BRUSEY, J.; TEMELJOTOV-SALAJ, A. The influence of acclimatization, age and gender-related differences on thermal perception in university buildings: Case studies in Scotland and England. **Building and Environment**, v. 179, 106933, 15 jul. 2020b.

KANG, L.; HUAN, G.; XUEJIN, Z.; HUA, Z.; BINLIN, D.; NI, L.; YI, Z.; RAN, T.; QIZE, H.; LIN, S. Deep learning and thermographic imaging method for thermal comfort prediction in different genders. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 197, 108804, 1 mar. 2024.

KARJALAINEN, S. Gender differences in thermal comfort and use of thermostats in everyday thermal environments. **Building and Environment**, v. 42, n. 4, p. 1594–1603, abr. 2007.

KINGMA B.; FRIJNS A.; LICHTENBELT, W.V.M. The thermoneutral zone: implications for metabolic studies. **Frontiers in Bioscience**, v. 4, n. 5, p. 1975-1985, 1 jan. 2012.

KORSAVI, S. S.; MONTAZAMI, A. Adaptive Behaviours and Occupancy Patterns in UK Primary Schools: Impacts on Comfort and Indoor Quality. **Windsor Conference**. Proceedings of 10th Windsor Conference: Rethinking Comfort. 2018. Acesso em: 21 mar. 2021.

KORSAVI, S. S.; MONTAZAMI, A. Children's thermal comfort and adaptive behaviours; UK primary schools during non-heating and heating seasons. **Energy and Buildings**, v. 214, 109857, 1 maio 2020.

KUMAR, S.; SINGH, M. K.; MATHUR, A.; KOŠIR, M. Occupant's thermal comfort expectations in naturally ventilated engineering workshop building: A case study at high metabolic rates. **Energy and Buildings**, v. 217, 109970, 15 jun. 2020.

KUMAR, S.; SINGH, M. K. Seasonal comfort temperature and occupant's adaptive behaviour in a naturally ventilated university workshop building under the composite climate of India. **Journal of Building Engineering**, v. 40, 102701, 1 ago. 2021.

LAMBERTI, G.; LECCESE, F.; SALVADORI, G.; CONTRADA, F.; KINDINIS, A. Investigating the effects of climate on thermal adaptation: A comparative field study in naturally ventilated university classrooms. **Energy and Buildings**, v. 294, 113227, 1 set. 2023.

LAU, S. S. Y.; ZHANG, J.; TAO, Y. A comparative study of thermal comfort in learning spaces using three different ventilation strategies on a tropical university campus. **Building and Environment**, v. 148, p. 579–599, 15 jan. 2019.

LIU, J.; YANG, X.; JIANG, Q.; QIU, J.; LIU, Y. Occupants' thermal comfort and perceived air quality in natural ventilated classrooms during cold days. **Building and Environment**, v. 158, p. 73–82, 15 maio 2019.

LÓPEZ-PÉREZ, L. A.; FLORES-PRIETO, J. J.; RÍOS-ROJAS, C. Adaptive thermal comfort model for educational buildings in a hot-humid climate. **Building and Environment**, v. 150, p. 181–194, 1 mar. 2019.

LU, S.; PANG, B.; QI, Y.; FANG, K. Field study of thermal comfort in non-air-conditioned buildings in a tropical island climate. **Applied Ergonomics**, v. 66, p. 89–97, 1 jan. 2018.

LUO, M.; WANG, Z.; BRAGER, G.; CAO, B.; ZHU, Y. Indoor climate experience, migration, and thermal comfort expectation in buildings. **Building and Environment**, v. 141, p. 262–272, 15 ago. 2018.

LUO, X.; SUN, Y.; LIU, X.; GAO, Y.; SUN, H.; LIU, Y. Course timetable optimization for a university teaching building considering the building energy efficiency and time-varying thermal perception of students. **Building and Environment**, v. 219, 109175, 1 jul. 2022.

MARQUES, C. S.; PEREIRA, B. A. D.; ALVES, J. N. Identificação dos Principais Fatores Relacionados à Infraestrutura Universitária: Uma Análise em uma IES Pública. **Revista Sociais e Humanas**, v. 23, n. 1, p. 91–103, 13 out. 2010.

MARTELL, M.; RODRÍGUEZ, F.; CASTILLA, M.; BERENGUEL, M. Multiobjective control architecture to estimate optimal set points for user comfort and energy saving in buildings. **ISA Transactions**, v. 99, p. 454–464, 22 out. 2019.

MAYKOT, J. K.; RUPP, R. F.; GHISI, E. A field study about gender and thermal comfort temperatures in office buildings. **Energy and Buildings**, v. 178, p. 254–264, 13 set. 2018a.

MAYKOT, J. K.; RUPP, R. F.; GHISI, E. Assessment of gender on requirements for thermal comfort in office buildings located in the Brazilian humid subtropical climate. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1170–1183, 1 jan. 2018b.

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

MING, R.; YU, W.; ZHAO, X.; LIU, Y.; LI, B.; ESSAH, E.; YAO, R. Assessing energy saving potentials of office buildings based on adaptive thermal comfort using a tracking-based method. **Energy and Buildings**, v. 208, 109611, 1 fev. 2020.

MINISTRY OF HOUSING AND URBAN-RURAL DEVELOPMENT OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. **Evaluation standard for indoor thermal environment in civil buildings**. GB/T 50785 2012. Ministry of housing and urban-rural development of the people's Republic of China, Pequim, 2012.

MISHRA, A. K.; DERKS, M. T. H.; KOOL, L.; LOOMANS, M. G. L. C.; KORT, H. S. M. Analysing thermal comfort perception of students through the class hour, during heating season, in a university classroom. **Building and Environment**, v. 125, p. 464–474, 15 nov. 2017.

MONTAZAMI, A.; GATERELL, M.; NICOL, F.; LUMLEY, M.; THOUA, C. Impact of social background and behaviour on children's thermal comfort. **Building and Environment**, v. 122, p. 422–434, 1 set. 2017.

MUSTAPHA T.D.; HASSAN A.S.; KHOZAEI F.; ONUBI H.O. Examining thermal comfort levels and ASHRAE Standard-55 applicability: A case study of free-running classrooms in Abuja, Nigeria. **Indoor and Built Environment**, v. 33, n. 1, p. 8-22, 31 maio 2023.

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

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 563–572, 18 mar. 2002.

NING, H.; WANG, Z.; JI, Y. Thermal history and adaptation: Does a long-term indoor thermal exposure impact human thermal adaptability? **Applied Energy**, v. 183, p. 22–30, 1 dez. 2016.

NIZA, I. L.; BRODAY, E. E. Thermal comfort conditions in Brazil: A discriminant analysis through the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II. **Building and Environment**, v. 221, 109310, 20 jun. 2022.

NIZA, I. L.; LUZ, I. M.; BRODAY, E. E. Thermal Comfort Assessment in University Classrooms: A Discriminant Analysis for Categorizing Individuals According to Gender and Thermal Preferences. **Atmosphere**, v. 14, n. 9, p. 1325-1344, 1 set. 2023.

NODA, L.; LIMA, A. V. P.; SOUZA, J. F.; LEDER, S.; QUIRINO, L. M. Thermal and visual comfort of schoolchildren in air-conditioned classrooms in hot and humid climates. **Building and Environment**, v. 182, 107156, 7 ago. 2020.

PAPADOPOULOS, G.; PANARAS, G.; TOLIS, E. Thermal comfort and Indoor Air Quality assessment in university classrooms. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, Institute of Physics Publishing Ltd, v. 410, 012095, 24 jan. 2020.

- PAPADOPOULOS, S.; KONTOKOSTA, C. E.; VLACHOKOSTAS, A.; AZAR, E. Rethinking HVAC temperature setpoints in commercial buildings: The potential for zero-cost energy savings and comfort improvement in different climates. **Building and Environment**, v. 155, p. 350–359, 15 maio 2019.
- PARK, J. H.; YUN, B. Y.; CHANG, S. J.; WI, S.; JEON, J.; KIM, S. Impact of a passive retrofit shading system on educational building to improve thermal comfort and energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 216, 109930, 1 jun. 2020.
- PELLEGRINO, M.; SIMONETTI, M.; FOURNIER, L. A field survey in Calcutta. Architectural issues, thermal comfort and adaptive mechanisms in hot humid climates. 7th Windsor Conference: The Changing Context of Comfort in an Unpredictable World, Windsor. **Anais...** 12-15 abr. 2012.
- PORRAS-SALAZAR, J. A.; WYON, D. P.; PIDERIT-MORENO, B.; CONTRERAS-ESPINOZA, S.; WARGOCKI, P. Reducing classroom temperature in a tropical climate improved the thermal comfort and the performance of elementary school pupils. **Indoor Air**, v. 28, n. 6, p. 892–904, 1 nov. 2018.
- PRAJONGSAN, P.; SHARPLES, S. Enhancing natural ventilation, thermal comfort and energy savings in high-rise residential buildings in Bangkok through the use of ventilation shafts. **Building and Environment**, v. 50, p. 104–113, abr. 2012.
- RIJAL, H. B.; YOSHIDA, H.; UMEMIYA, N. Seasonal and regional differences in neutral temperatures in Nepalese traditional vernacular houses. **Building and Environment**, v. 45, n. 12, p. 2743–2753, dez. 2010.
- RODRÍGUEZ, C. M.; CORONADO, M. C.; MEDINA, J. M. Thermal comfort in educational buildings: The Classroom-Comfort-Data method applied to schools in Bogotá, Colombia. **Building and Environment**, v. 194, 107682, maio 2021.
- ROMERO, P.; VALERO-AMARO, V.; ISIDORO, R.; MIRANDA, M. T. Analysis of determining factors in the thermal comfort of university students. A comparative study between Spain and Portugal. **Energy and Buildings**, v. 308, 114022, 1 abr. 2024.
- RUN, K.; CÉVAËR, F.; DUBÉ, J. F. Does energy-efficient renovation positively impact thermal comfort and air quality in university buildings? **Journal of Building Engineering**, v. 78, 107507, 1 nov. 2023.
- RUPP, R. F. **Conforto térmico humano em edificações de escritórios localizadas no clima subtropical úmido de Florianópolis/SC**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.
- RUPP, R. F.; DEAR, R.; GHISI, E. Field study of mixed-mode office buildings in Southern Brazil using an adaptive thermal comfort framework. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1475–1486, 1 jan. 2018.
- RUPP, R. F.; GHISI, E. Predicting thermal comfort in office buildings in a Brazilian temperate and humid climate. **Energy and Buildings**, v. 144, p. 152–166, 1 jun. 2017.
- RUPP, R. F.; GHISI, E. Avaliação de modelos preditivos de conforto térmico em escritórios no clima subtropical brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 2, p. 91–107, abr. 2019.

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

RUPP, R. F.; KIM, J.; GHISI, E.; DEAR, R. Thermal sensitivity of occupants in different building typologies: The Griffiths Constant is a Variable. **Energy and Buildings**, v. 200, p. 11–20, 1 out. 2019.

RUPP, R. F.; PARKINSON, T.; KIM, J.; TOFTUM, J.; DEAR, R. The impact of occupant's thermal sensitivity on adaptive thermal comfort model. **Building and Environment**, v. 207, Parte B, 108517, 1 jan. 2022.

SARACOGLU, A.; SANLI, D. U. Accuracy of GPS positioning concerning Köppen-Geiger climate classification. **Measurement**, v. 181, 109629, 1 ago. 2021.

SHOOSHTARIAN, S.; RAJAGOPALAN, P. Study of thermal satisfaction in an Australian education precinct. **Building and Environment**, v. 123, p. 119–132, 1 out. 2017.

SINGH, M. K.; KUMAR, S.; OOKA, R.; RIJAL, H. B.; GUPTA, G.; KUMAR, A. Status of thermal comfort in naturally ventilated classrooms during the summer season in the composite climate of India. **Building and Environment**, v. 128, p. 287–304, 15 jan. 2018.

SINGH, M. K.; OOKA, R.; RIJAL, H. B.; KUMAR, S.; KUMAR, A.; MAHAPATRA, S. Progress in thermal comfort studies in classrooms over last 50 years and way forward. **Energy and Buildings**, v. 188-189, p. 149-174, 1 abr. 2019.

SILVA, A. S.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Performance evaluation of long-term thermal comfort indices in building simulation according to ASHRAE Standard 55. **Building and Environment**, v. 102, p. 95–115, 1 jun. 2016.

SMITH, P.; HENRÍQUEZ, C. Perception of thermal comfort in outdoor public spaces in the medium-sized city of Chillán, Chile, during a warm summer. **Urban Climate**, v. 30, 100525, 1 dez. 2019.

TALUKDAR, M. S. J.; TALUKDAR, T. H.; SINGH, M. K.; BATEN, M. A.; HOSSEN, M. S. Status of thermal comfort in naturally ventilated university classrooms of Bangladesh in hot and humid summer season. **Journal of Building Engineering**, v. 32, 101700, 1 nov. 2020.

TAVARES, D. F.; MARIA, M.; CAETANO, D. O.; BITTENCOURT, L. S. Conforto térmico em salas de aula climatizadas para o clima quente e úmido. **Ciências Humanas e Sociais**, v. 6, n. 3, p. 169–184, 8 jun. 2021.

THAPA, S. Insights into the thermal comfort of different naturally ventilated buildings of Darjeeling, India – Effect of gender, age and BMI. **Energy and Buildings**, v. 193, p. 267–288, 15 jun. 2019.

THAPA, S. Revisiting thermal comfort in the cold climate of Darjeeling, India – Effect of assumptions in comfort scales. **Building and Environment**, v. 203, 108095, 1 out. 2021.

TORRIANI, G.; LAMBERTI, G.; SALVADORI, G.; FANTOZZI, F.; BABICH, F. Thermal comfort and adaptive capacities: Differences among students at various school stages. **Building and Environment**, v. 237, 110340, 1 jun. 2023.

TREBILCOCK, M.; SOTO-MUÑOZ, J.; YAÑEZ, M.; FIGUEROA-SAN MARTIN, R. The right to comfort: A field study on adaptive thermal comfort in free-running primary schools in Chile. **Building and Environment**, v. 114, p. 455–469, 1 mar. 2017.

UDDIN, M. N.; LEE, M.; NI, M. The impact of socio-demographic factors on occupants' thermal comfort and sensation: An integrated approach using statistical analysis and agent-based modeling. **Building and Environment**, v. 246, 110974, 1 dez. 2023.

SCHNEEGANS, S.; LEWIS, J.; T. STRAZA (Eds.). **Relatório de Ciências da UNESCO: A corrida contra o tempo por um desenvolvimento mais inteligente – Resumo executivo**. Paris: UNESCO. 2023. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377250_por. Acesso em 18 jan. 2024.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. **Relatório**. Nairobi, 2021. Disponível em: https://globalabc.org/sites/default/files/2021-10/GABC_Buildings-GSR-2021_BOOK.pdf. Acesso em: 11 jul 2022.

U.S. Energy Information Administration (EIA) - International Energy Data (2023). Disponível em: <https://www.eia.gov/opendata/bulkfiles.php>. Acesso em: 20 jan. 2024.

VAN HOOFF, J.; SCHELLEN, L.; SOEBARTO, V.; WONG, J. K. W.; KAZAK, J. K. Ten questions concerning thermal comfort and ageing. **Building and Environment**, v. 120, p. 123–133, 1 ago. 2017.

WANG, D.; XU, Y.; LIU, Y.; WANG, Y.; JIANG, J.; WANG, X.; LIU, J. Experimental investigation of the effect of indoor air temperature on students' learning performance under the summer conditions in China. **Building and Environment**, v. 140, p. 140–152, 1 ago. 2018.

WANG, L.; WANG, Y.; FEI, F.; YAO, W.; SUN, L. Study on winter thermal environment characteristics and thermal comfort of university classrooms in cold regions of China. **Energy and Buildings**, v. 291, 113126, 15 jul. 2023.

WANG, X.; YANG, L.; GAO, S.; ZHAO, S.; ZHAI, Y. Thermal comfort in naturally ventilated university classrooms: A seasonal field study in Xi'an, China. **Energy and Buildings**, v. 247, 111126, 15 set. 2021.

WANG, Z.; LI, A.; REN, J.; HE, Y. Thermal adaptation and thermal environment in university classrooms and offices in Harbin. **Energy and Buildings**, v. 77, p. 192–196, 1 jul. 2014.

WANG, Z.; YU, H.; JIAO, Y.; CHU, X.; LUO, M. Chinese older people's subjective and physiological responses to moderate cold and warm temperature steps. **Building and Environment**, v. 149, p. 526–536, 1 fev. 2019.

WARGOCKI, P.; PORRAS-SALAZAR, J. A.; CONTRERAS-ESPINOZA, S. The relationship between classroom temperature and children's performance in school. **Building and Environment**, v. 157, p. 197–204, 15 jun. 2019.

WARGOCKI, P.; PORRAS-SALAZAR, J. A.; CONTRERAS-ESPINOZA, S.; BAHNFLETH, W. The relationships between classroom air quality and children's performance in school. **Building and Environment**, v. 173, 106749, 15 abr. 2020.

WU, Y.; ZHANG, Z.; LIU, H.; LI, B.; CHEN, B.; KOSONEN, R.; JOKISALO, J. Age differences in thermal comfort and physiological responses in thermal environments with temperature ramp. **Building and Environment**, v. 228, 109887, 15 jan. 2023.

WU, Z.; LI, N.; PENG, J.; LI, J. Effect of long-term indoor thermal history on human physiological and psychological responses: A pilot study in university dormitory buildings. **Building and Environment**, v. 166, 106425, 1 dez. 2019a.

WU, Z.; LI, N.; WARGOCKI, P.; PENG, J.; LI, J.; CUI, H. Field study on thermal comfort and energy saving potential in 11 split air-conditioned office buildings in Changsha, China. **Energy**, v. 182, p. 471–482, 1 set. 2019b.

YAN, H.; LIU, Q.; ZHANG, H.; WANG, H.; LI, H.; YANG, L. Difference in the thermal response of the occupants living in northern and southern China. **Energy and Buildings**, v. 204, 109475, 1 dez. 2019.

YANG, L.; ZHAO, S.; GAO, S.; ZHANG, H.; ARENS, E.; ZHAI, Y. Gender differences in metabolic rates and thermal comfort in sedentary young males and females at various temperatures. **Energy and Buildings**, v. 251, 111360, 15 nov. 2021.

YAO, R.; LIU, J.; LI, B. Occupants' adaptive responses and perception of thermal environment in naturally conditioned university classrooms. **Applied Energy**, v. 87, n. 3, p. 1015–1022, 1 mar. 2010.

YU, J.; OUYANG, Q.; ZHU, Y.; SHEN, H.; CAO, G.; CUI, W. A comparison of the thermal adaptability of people accustomed to air-conditioned environments and naturally ventilated environments. **Indoor Air**, v. 22, n. 2, p. 110–118, 1 abr. 2012.

YUN, H.; NAM, I.; KIM, J.; YANG, J.; LEE, K.; SOHN, J. A field study of thermal comfort for kindergarten children in Korea: An assessment of existing models and preferences of children. **Building and Environment**, v. 75, p. 182–189, 1 maio 2014.

ZAKI, S. A.; DAMIATI, S. A.; RIJAL, H. B.; HAGISHIMA, A.; ABD RAZAK, A. Adaptive thermal comfort in university classrooms in Malaysia and Japan. **Building and Environment**, v. 122, p. 294–306, 1 set. 2017.

ZHAI, Y.; LI, M.; GAO, S.; YANG, L.; ZHANG, H.; ARENS, E.; GAO, Y. Indirect calorimetry on the metabolic rate of sitting, standing and walking office activities. **Building and Environment**, v. 145, p. 77–84, 1 nov. 2018.

ZHANG, G.; ZHENG, C.; YANG, W.; ZHANG, Q.; MOSCHANDREAS, D. J. Thermal comfort investigation of naturally ventilated classrooms in a subtropical region. **Indoor and Built Environment**, v. 16, n. 2, p. 148–158, 1 abr. 2007.

ZHANG, J.; LI, P.; MA, M. Thermal Environment and Thermal Comfort in University Classrooms during the Heating Season. **Buildings**, v. 12, n. 7, p. 912-931, 1 jul. 2022.

ZHANG, N.; CAO, B.; WANG, Z.; ZHU, Y.; LIN, B. A comparison of winter indoor thermal environment and thermal comfort between regions in Europe, North America, and Asia. **Building and Environment**, v. 117, p. 208–217, 15 maio 2017.

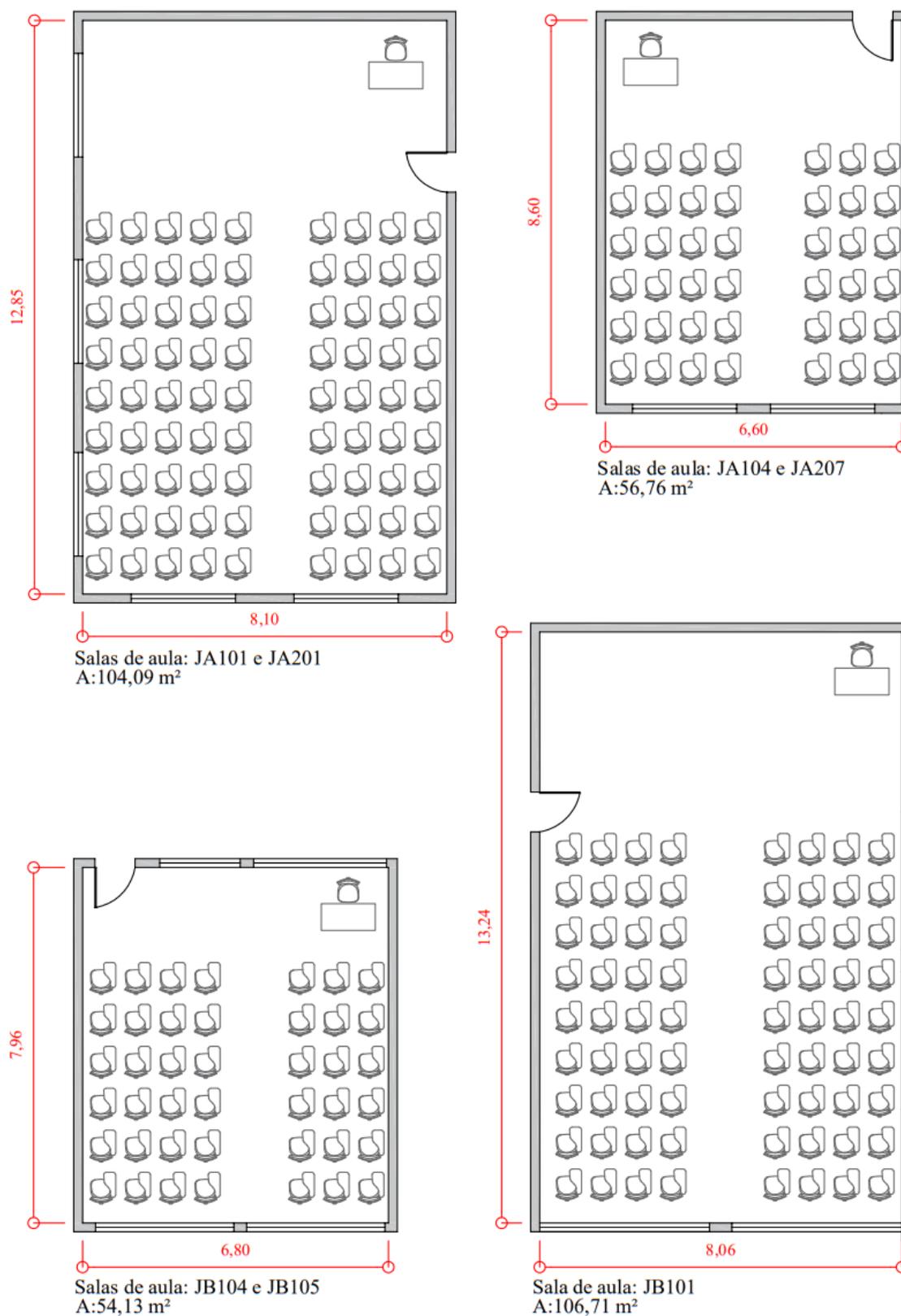
ZHANG, Y.; BAI, X.; MILLS, F. P.; PEZZEY, J. C. V. Rethinking the role of occupant behavior in building energy performance: A review. **Energy and Buildings**, v. 172, p. 279-294, 1 ago. 2018.

ZHANG, Y.; CHEN, H.; WANG, J.; MENG, Q. Thermal comfort of people in the hot and humid area of China—impacts of season, climate, and thermal history. **Indoor Air**, v. 26, n. 5, p. 820–830, 1 out. 2016.

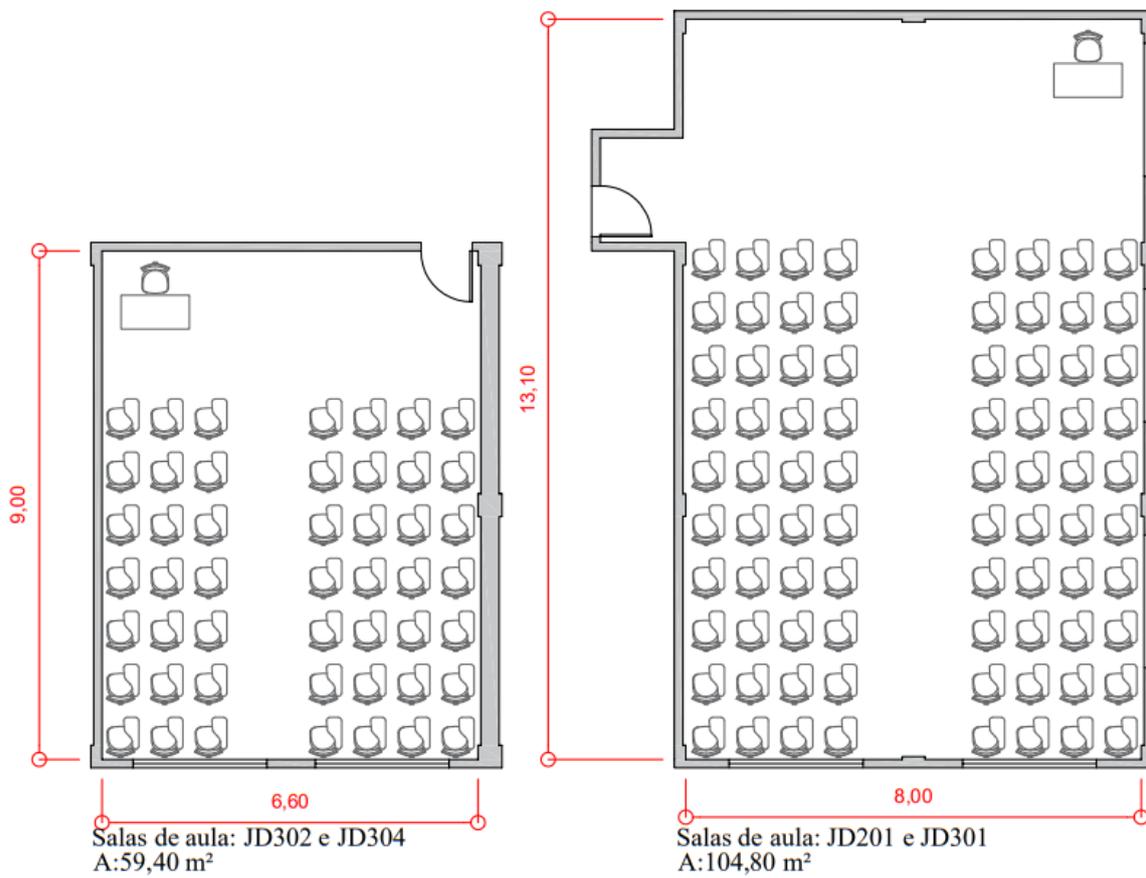
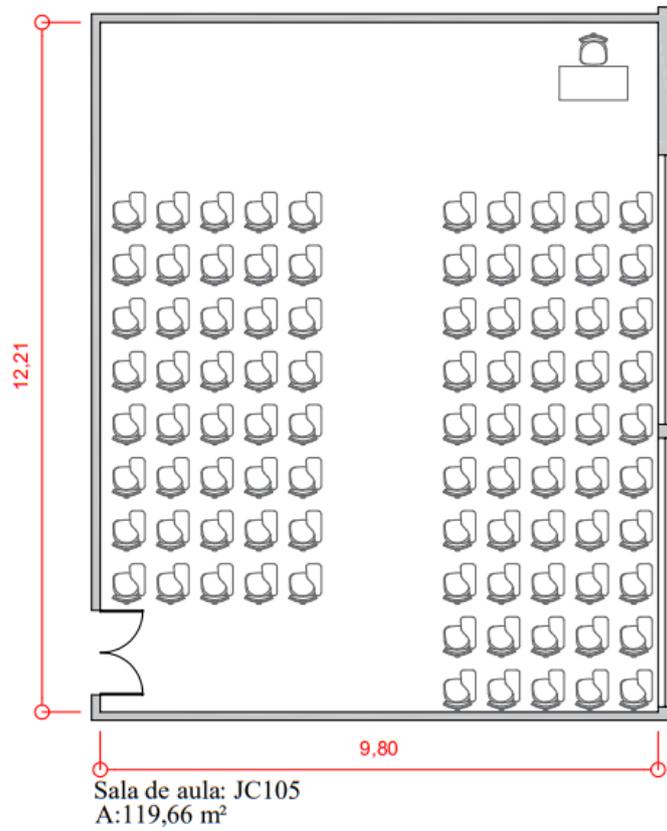
ZHAO, M.; JI, Y.; XIE, J.; YIN, P.; LIU, J. Understanding patterns of adaptive comfort behavior in university graduate research offices—A case study of a university in Beijing. **Energy and Buildings**, v. 307, 113945, 15 mar. 2024.

ZOMORODIAN, Z. S.; TAHSILDOOST, M.; HAFEZI, M. Thermal comfort in educational buildings: A review article. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 895-906, 1 jun. 2016.

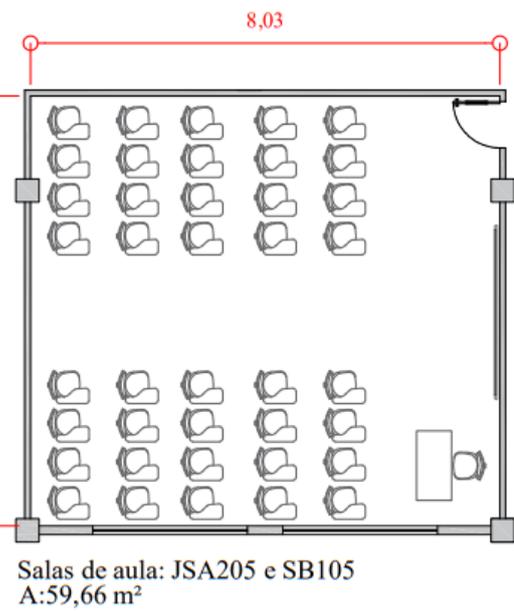
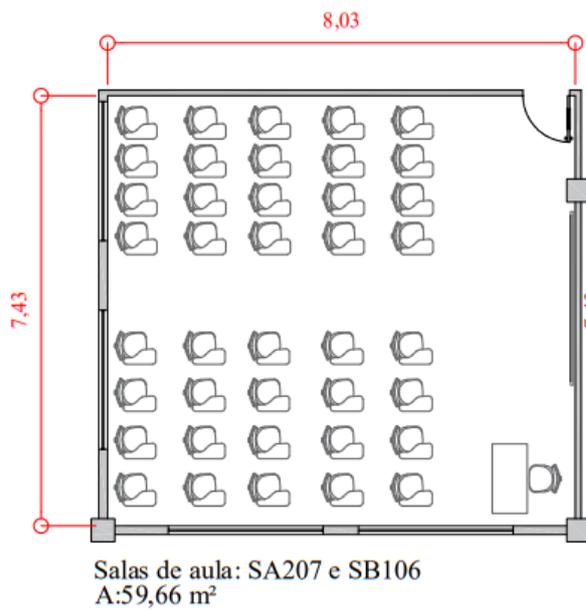
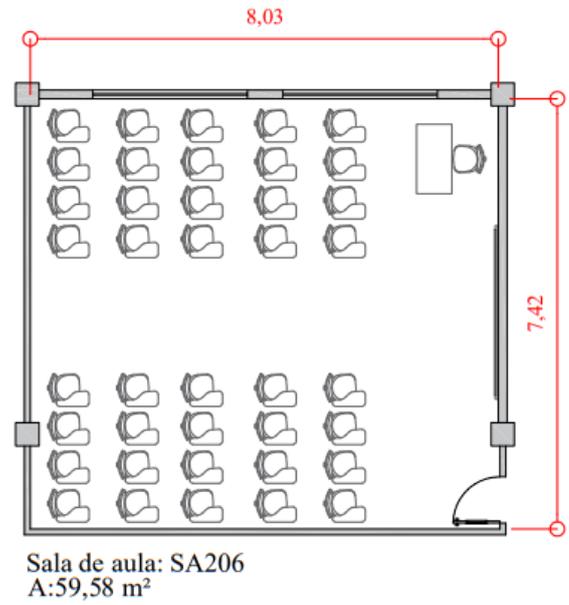
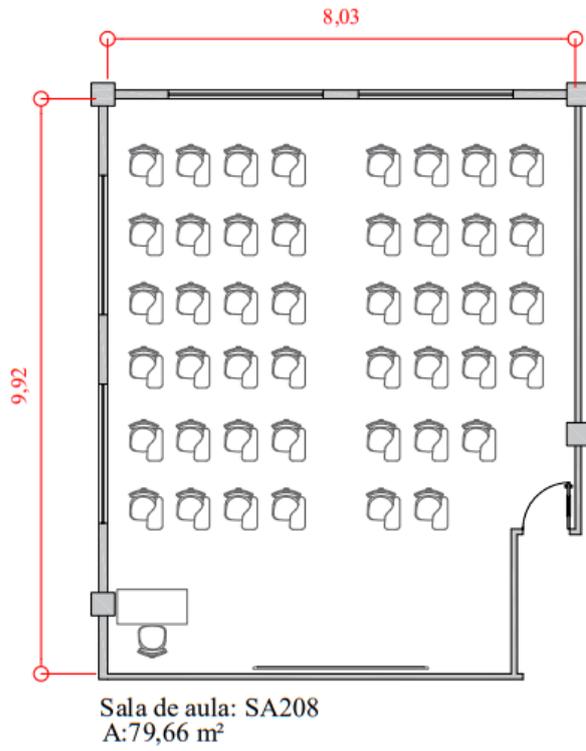
Apêndice A – Características físicas das salas de aula.



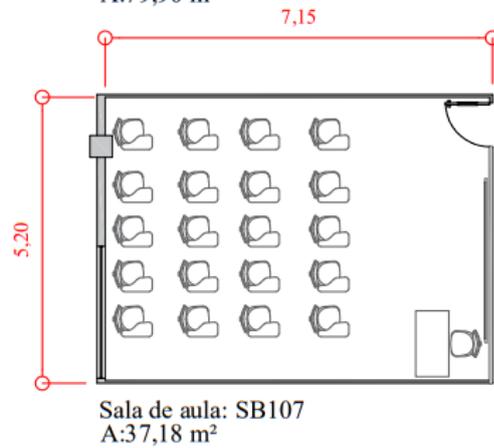
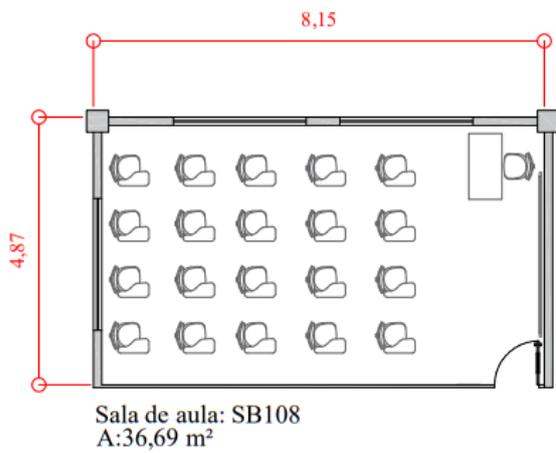
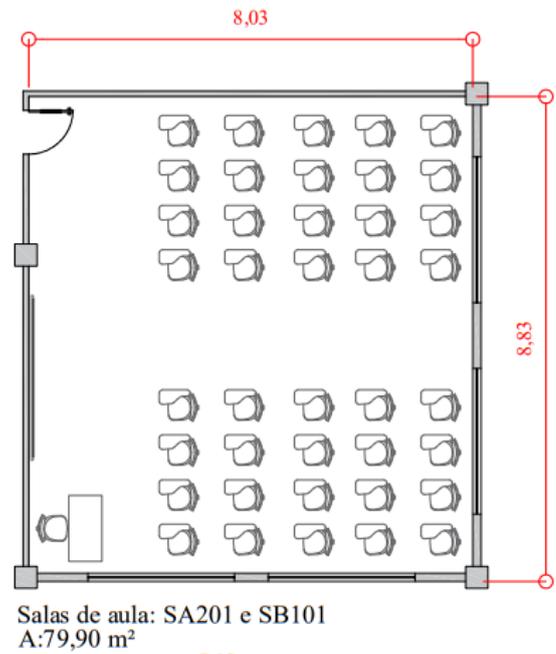
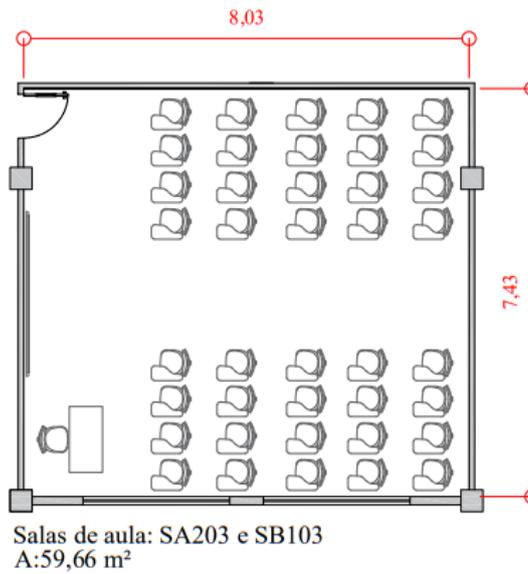
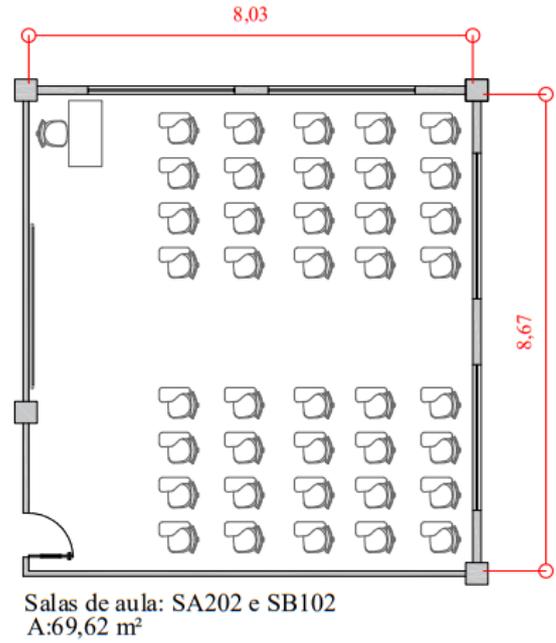
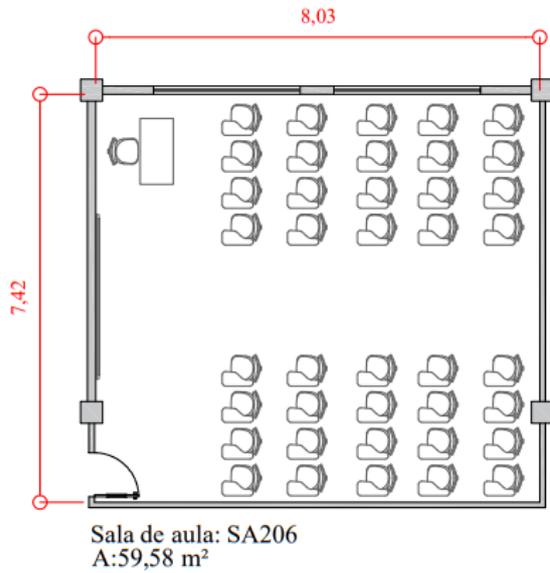
As cotas estão em metros.



As cotas estão em metros.



As cotas estão em metros.



As cotas estão em metros.

Tabela A.1 – Dimensões, orientação solar e capacidade das salas de aula estudadas.

Sala de aula	A (m ²)	H (m)	Orientação solar	V (m ³)	Cadeiras
JA101	104,1	3,9	Noroeste	405,9	81
JA104	56,8	3,9	Noroeste	221,4	42
JA201	104,1	3,9	Noroeste	405,9	81
JA207	56,8	3,9	Leste	221,4	42
JB101	106,7	3,9	Nordeste	416,2	72
JB104	54,1	3,9	Nordeste	211,1	42
JB105	54,1	3,9	Nordeste	211,1	42
JC105	119,7	4,2	Noroeste	502,6	90
JD201	104,8	3,7	Noroeste	387,8	80
JD301	104,8	3,7	Nordeste	387,8	80
JD302	59,4	3,7	Noroeste	219,8	49
JD304	59,4	3,7	Leste	219,8	49
SA201	70,9	3,9	Noroeste	276,5	40
SA202	69,6	3,9	Nordeste	271,5	40
SA203	59,7	3,9	Noroeste	232,7	40
SA204	59,6	3,9	Noroeste	232,4	40
SA205	59,7	3,9	Nordeste	232,7	40
SA206	59,6	3,9	Leste	232,4	40
SA207	59,7	3,9	Noroeste	232,7	40
SA208	79,7	3,7	Noroeste	294,7	45
SB101	70,9	3,9	Nordeste	276,5	40
SB102	69,6	3,9	Noroeste	271,5	40
SB103	59,7	3,9	Leste	232,7	40
SB104	59,6	3,9	Noroeste	232,4	40
SB105	59,7	3,9	Noroeste	232,7	40
SB106	59,7	3,9	Leste	232,7	40
SB107	37,2	3,9	Nordeste	145,0	20
SB108	39,7	3,7	Noroeste	146,9	20

H = Pé direito; A = Área; V = Volume.

Apêndice B - Questionário

Parte 1 do questionário: hábitos, preferências e características pessoais e socioeconômicas

1. Seu nome completo*

Escreva uma ou algumas palavras...

500

2. Sua idade (em anos)*

Escreva uma ou algumas palavras...

500

3. Seu peso corporal (em kg)*

Escreva uma ou algumas palavras...

500

4. Sua altura (em centímetros)*

Escreva uma ou algumas palavras...

500

5. Seu gênero*

Selecione uma resposta

Masculino

Feminino

Outro

6. Você mudou de cidade para cursar a graduação?*

Selecione uma resposta

Sim

Não

7. Se você mudou de cidade para cursar a graduação, especifique sua cidade de origem com o estado, por favor.

Escreva uma ou algumas palavras...

500

8. Como você classifica o seu humor hoje?*

O "zero" representa muito mal-humorado e o 100 muito bem-humorado. Por favor, arraste a barra da escala para indicar o seu humor hoje.

**12. Se pratica atividades físicas, em média, quantas horas por semana?***

Selecione uma resposta

Não pratico

Menos de 1h por semana.

Entre 1h e 3h por semana.

Entre 3h e 5h por semana.

Mais de 5h por semana.

13. Se faz uso de ar-condicionado em casa, quando?*

Selecione uma resposta

Apenas em dias muito quentes ou muito frios.

Quase sempre, independente da condição externa

14. Se faz uso de ar-condicionado em casa, onde? (Pode marcar mais de uma)*

Selecione uma ou mais respostas

Sala

Quarto

Escritório em casa

Cozinha

15. Se faz uso de ar-condicionado em casa, em média, por quanto tempo, por dia?*

Selecione uma resposta

Menos de 4h por dia.

Entre de 4h e 8h por dia.

Mais de 8h por dia.

16. Desconsiderando as roupas íntimas, marque todas as peças de roupa que está usando neste momento.*

Selecione uma ou mais respostas

Camiseta/camis polo	Camisa manga longa
Camisa manga curta	Suéter manga longa
Suéter manga curta	Jaqueta/paletó fino
Jaqueta/paletó grosso	Blusa moletom
Colete	Calça jeans
Calça social	Calça moletom
Bermuda jeans (joelho)	Bermuda (joelho)
Short (acima do joelho)	Saia curta (joelho)
Saia longa (canela)	Vestido social
Meias esportivas	Botas
Tenis/sapato	Sandálias
Meia calça	Outros

17. Se você respondeu "outros" na questão anterior, por favor, especifique.

Escreva uma ou algumas palavras...

500

18. Qual atividade você está fazendo neste momento?*

Selecione uma resposta

Sentado quieto
Lendo
Escrevendo

19. Refletindo sobre o seu dia a dia e em comparação com as pessoas ao seu redor (por exemplo, os seus colegas na universidade), você se considera uma pessoa:*

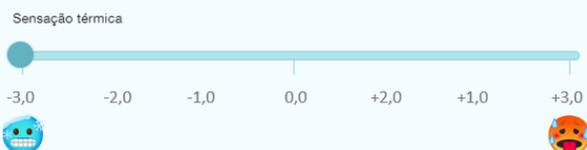
Selecione uma resposta

Mais sensível ao frio/friorenta (por exemplo, eu normalmente reclamo que estou sentindo frio enquanto as pessoas ao meu redor não estão sentindo frio).
Mais sensível ao calor/calorenta (por exemplo, eu normalmente reclamo que estou sentindo calor enquanto as pessoas ao meu redor não estão sentindo calor)
Sensível a ambos, tanto ao frio, quanto ao calor (por exemplo, eu normalmente reclamo que estou sentindo frio ou calor enquanto as pessoas ao meu redor não estão sentindo frio ou calor, respectivamente)
Pouco ou não sensível a ambos, nem ao frio, nem ao calor (por exemplo, eu normalmente não reclamo ou reclamo pouco que estou sentindo frio ou calor enquanto as pessoas ao meu redor estão reclamando que estão se sentindo com frio ou calor, respectivamente)

Parte 2 do questionário: avaliação em tempo real

1. Qual é a sua sensação térmica neste momento?*

Deslize a barra para indicar sua sensação térmica. Deslizando mais à esquerda você indicará que estará com mais frio e mais à direita você indicará que estará com mais calor. Marque "zero" (no meio da barra) se você estiver neutro (não está sentindo nem frio nem calor). Se estiver ligeiramente com frio, deslize a barra para a esquerda a partir do zero até a posição que indica sua sensação. Se estiver ligeiramente com calor, deslize a barra para a direita até a posição que indica sua sensação.



2. Como você se sente em relação ao ambiente térmico neste momento?*

Marque "zero" se você estiver muito desconfortável. Marque "100" se estiver muito confortável. Use apenas a primeira barra.

Atribuir 100 pontos

Conforto



3. Em caso de você se sentir desconfortável, o desconforto seria:*

Selecione uma resposta

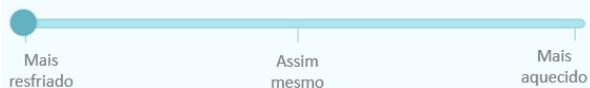
Desconforto por frio

Desconforto por calor

Estou confortável

4. Você preferiria estar:*

Deslize a barra para indicar a sua preferência em relação ao ambiente térmico. Se você prefere ficar assim mesmo, posicione a barra no centro. Se você prefere estar mais aquecido, deslize a barra para a direita. Se você prefere estar mais resfriado, deslize a barra para a esquerda.



5. Com relação a velocidade do ar na sala de aula, você considera:*

Selecione uma resposta

Muito baixa

Suficiente

Muito alta

6. Com relação a velocidade do ar na sala de aula, você considera:*

Selecione uma resposta

Aceitável

Inaceitável

7. Considerando a sua resposta anterior, qual sua preferência em relação à velocidade do ar?*

Selecione uma resposta

Mais movimento do ar

Não mudar

Menos movimento do ar

8. Qual sua sensação de umidade neste momento?*

Selecione uma resposta

Muito seco

Seco

Neutro

Úmido

Muito úmido

9. Considerando a sua resposta anterior, qual sua preferência em relação à umidade do ar?*

Selecione uma resposta

Aumentar a umidade

Não mudar

Diminuir a umidade

10. A umidade do ar é:*

Selecione uma resposta

Aceitável

Inaceitável

11. Desde a última vez que você respondeu ao questionário hoje, você mudou alguma peça de roupa?*

Selecione uma resposta

Sim

Não

12. Se você mudou alguma peça de roupa, você acrescentou ou retirou alguma peça? qual foi?

Escreva uma ou algumas palavras...

500

13. Desde a última vez que você respondeu ao questionário hoje, você ingeriu alguma bebida ou comida quente ou fria? Se sim, indique abaixo, se não, deixe em branco.

Escreva uma ou algumas palavras...

500

14. Desde a última vez que você respondeu ao questionário hoje, você efetuou alguma destas ações?*

Selecione uma ou mais respostas

Abriu janelas

Ligou ar-condicionado.

Fechou janelas

Desligou ar-condicionado

Ligou ventilador

Desligou ventilador

Nenhuma

15. Qual seu grau de satisfação com a qualidade do ar interno? (odores, ar viciado, ar limpo...)*

Considere "zero" para muito insatisfeito e 100 para muito satisfeito. Você pode mover a barra para a posição que é mais adequada à sua resposta.



16. Neste momento, você apresenta algum destes sintomas?*

Selecione uma ou mais respostas

Dor de garganta.

Boca seca

Dificuldade para respirar

Irritação nos olhos

Rinorreia

Obstrução nasal

Pele seca

Prurido

Sonolência

Cansaço

Falta de atenção

Dor de cabeça

Esquecimento

Incapaz de pensar

Distensão abdominal

Náusea

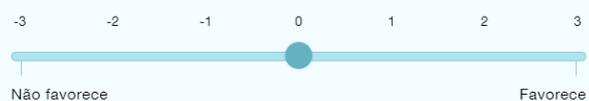
Dor de ouvido

Odor do ar

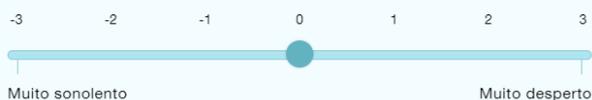
Nenhum

17. No geral, a qualidade do ar da sua sala de aula favorece ou atrapalha a sua capacidade de realizar satisfatoriamente as atividades?

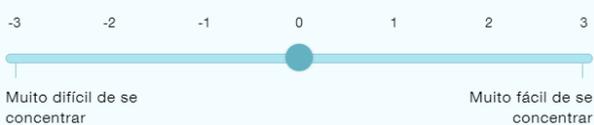
Considere "zero" se você não sente nada sobre o assunto. Considere -3 se não favorece e 3 se favorece.



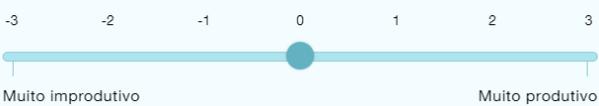
18. Como você descreve seu estado de alerta, neste momento?



19. Como você descreve seu estado de concentração, neste momento?



20. Como você descreve seu estado de produtividade, neste momento?



21. Como você descreve seu estado de disposição para as atividades na sala, neste momento?

