XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES INTERNOS NO BRASIL E O DESENVOLVIMENTO DA BASE BRASILEIRA DE DADOS

Maíra André (1); Greici Ramos (2); Carolina Buonocore (3); Cesar Henrique De Godoy Gomes (4); Maíra Oliveira Pires (5); Renata De Vecchi (6); Christhina Maria Cândido (7); Antonio Augusto de Paula Xavier (8); Roberto Lamberts (9)

(1) Mestre, Arquiteta e Urbanista, maira.andre@gmail.com, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE).
(2) Mestre, Arquiteta e Urbanista greici.ramos@posgrad.ufsc.br, UFSC, LabEEE.
(3) Mestre, Arquiteta e Urbanista, carolina_buonocore@yahoo.com.br, UFSC, LabEEE.
(4) Mestre, Arquiteto e Urbanista, godyarq@gmail.com, Centro Universitário de Maringá, Av. Guedner, 1610 - Jd. Aclimação - Maringá, PR
(5) Mestre, Arquiteta e Urbanista, maira.opires@gmail.com, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões.
(6) Doutora, Arquiteta e Urbanista, renata.vecchi@posgrad.ufsc.br, UFSC, LabEEE.
(7) PhD, Arquiteta e Urbanista, chrsthina.candido@sydney.edu.au, The University of Sydney, G04 - Wilkinson Building.
(8) Doutor, Engenheiro Civil, augustox@utfpr.edu.br, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Laboratório de Ergonomia.
(9) PhD, Engenheiro Civil, roberto.lamberts@ufsc.br, UFSC, LabEEE.

RESUMO

Os primeiros estudos de conforto térmico no Brasil começaram a ser desenvolvidos na década de 30. Embora uma quantidade significativa de trabalhos desse tema possa ser encontrada em diferentes regiões do país, poucos foram publicados nacionalmente e internacionalmente. Com o intuito de resgatar esses trabalhos e documentar os resultados encontrados, foi criada em 2014 a Base Brasileira de Dados de Conforto Térmico, sendo o objetivo deste artigo apresentar e descrever suas características e resultados principais. O método de trabalho baseou-se na padronização e tratamento dos dados brutos provenientes de estudos de campo realizados no Brasil. A partir da base padronizada foram analisadas as associações entre variáveis, entre elas destacam-se algumas variações importantes na percepção térmica entre pessoas de diferentes climas, o que também é influenciado pelo modo de condicionamento do ambiente (ar-condicionado ou naturalmente ventilado). Os resultados podem ser úteis na definição de normas focadas no contexto brasileiro; para tanto, é necessário ampliar a base de dados, buscando maior variabilidade climática, bem como tipologias de construção e características dos ocupantes.
Palavras-chave: conforto térmico, base brasileira de dados em conforto térmico, estudos de campo.

ABSTRACT

The first thermal comfort studies in Brazil began to be developed during the 30s. Although a significant amount of work on the subject is found in different regions of the country, few were nationally and internationally published. Thus, a Brazilian Thermal Comfort Database was created in 2014 focused in recovering and documenting these results. The objective of this paper is to present the Database, describing its characteristics and main results. The method based on the standardization and treatment of raw data from field studies. From which an association analysis was performed.The results highlight some important variations in the thermal perception among people from different climates, which is also influenced by the environment ventilation mode (air-conditioned or naturally ventilated). Furthermore, they also can help on standards definition considering the Brazilian context; to this end, it is necessary to expand the database, focusing on a higher climatic variability, as well as construction types and occupants with different characteristics.
Keywords: thermal comfort, Brazilian thermal comfort database, field studies.

1 INTRODUÇÃO

A história do conforto térmico no Brasil começou a ser traçada na década de 30, quando surgiram os primeiros estudos de campo realizados no Rio de Janeiro por Paulo Sá e Benjamin Ribeiro na cidade de São Paulo (OLIVEIRA; LABAKI, 2003). Os dados foram utilizados nas pesquisas de Humphreys (1976), que posteriormente deram origem ao modelo adaptativo. Os estudos seguintes, do período entre 1990 e 2005, se concentraram principalmente na aplicação da ISO 7730 (2005), e nas equações do voto médio predito (PMV) e percentual predito de insatisfeitos (PPD) de Fanger (1970), apresentando como principal característica a divergência na quantidade de insatisfeitos com relação ao índice PPD. Araújo (1996) realizou medições de conforto térmico em ambientes escolares ventilados naturalmente na cidade de Natal/RN, e verificou uma porcentagem alta de insatisfeitos por calor a partir da aplicação do PMV/PPD. Xavier (1999) analisou dados de conforto térmico registrados em salas de aula na cidade de Florianópolis/SC, e verificou que o PPD relativo aos votos de calor era superior aos números encontrados nas análises de votos reais. Ruas (1999) desenvolveu uma pesquisa de avaliação de conforto térmico buscando esclarecer o método proposto pela ISO 7730, discutindo as incertezas provenientes das estimativas no isolamento da vestimenta e taxa de metabolismo quando utilizados nos cálculos de conforto térmico.

Em Belo Horizonte/MG, Gonçalves (2000) definiu intervalos de temperatura confortáveis comparando-os aos padrões internacionais, e encontrou um PPD acima da média para a condição de neutralidade (25%). Xavier (2000) realizou experimentos em três cidades de climas distintos - Florianópolis/SC, Brasília/DF e Recife/PE - com e sem condicionamento artificial, e desenvolveu um algoritmo para a estimativa da taxa metabólica com base no consumo individual de oxigênio. O autor concluiu que, mesmo que a utilização do novo algoritmo resultasse em um modelo mais adequado ao PMV, as sensações de calor e de frio preditas ainda eram mais intensas do que as reais. Gomes (2003) avaliou as condições de conforto térmico em escritórios na cidade de Maringá, e verificou que a vestimenta e o gênero dos participantes impactaram diretamente na adequabilidade do modelo PMV/PPD. Barbosa (2004) e Gouvêa (2004) analisaram as condições de conforto térmico em indústrias no interior de São Paulo, e frisaram a inexistência de taxas de metabolismo adequadas às atividades nesse setor.

Após as recorrentes constatações de divergências entre o modelo de Fanger (1970) e os dados medidos em espaços reais no contexto climático e cultural brasileiro, pesquisas focadas na formulação de novos métodos e na aplicação do modelo adaptativo da ASHRAE 55 começaram a ser desenvolvidas. Nessa linha, Andreasi (2009) estabeleceu um modelo alternativo para a avaliação de conforto térmico em cidades do Mato Grosso do Sul com base na sensação térmica de recrutas e veteranos uniformizados. Cândido (2010) e De Vecchi (2011) analisaram a aceitabilidade de valores de velocidade do ar acima dos limites propostos pela ASHRAE 55 (2004) em salas de aula universitárias de Maceió/AL e Florianópolis/SC, e concluíram que os ocupantes não só aceitavam, como preferiam velocidades mais altas (acima de 0,80m/s). De Vecchi (2015) e Pires (2015) realizaram estudos de campo em escritórios de Florianópolis; no primeiro, foram comparados os resultados de edificações que operam sob o modo misto de climatização e com sistema central de condicionamento artificial, verificando adequabilidade do modelo adaptativo em todos os conjuntos de dados. No segundo estudo, embora houvesse baixa adequabilidade do modelo aos dados coletados no período de inverno, a aceitabilidade térmica foi alta em todo o período estudado (89%).

Estudos mais recentes focaram em questões que vão além das verificadas anteriormente. Buonocore (2018), realizou medições de campo em salas de aula de São Luís/MA e verificou que nesse clima a sensação térmica mais próxima à preferência das pessoas pode estar entre o voto "neutro" e de "leve sensação de frio", independentemente do modo de climatização utilizado. André (2019) avaliou o potencial do uso de ventiladores de mesa para se atingir conforto térmico de forma individualizada, e verificou que durante o verão esses equipamentos permitem que os usuários ajustem a velocidade do ar à sua preferência, amenizando desconfortos gerados pela exposição ao ambiente externo e elevação da taxa metabólica.

Embora exista um número considerável de trabalhos que registraram dados de campo no contexto brasileiro (e muitos deles podem não ter sido citados aqui), poucos foram publicados nacionalmente e internacionalmente. Alguns desses trabalhos formam hoje a Base Brasileira de Dados de Conforto Térmico[1] , projeto criado em 2014 com o intuito de reunir os resultados de estudos de campo efetuados em território nacional. Ao todo são mais de 10.000 votos armazenados, provenientes de quatro estados brasileiros e três tipos climáticos. Os dados reunidos nessa base até o ano de 2015 também fazem parte da Base Global II da ASHRAE (FÖLDVÁRY LIČINA et al., 2018), projeto conduzido pelo Center for the Built Environment (UC Berkeley) e o Indoor Environmental Quality Laboratory (USydney).

[1] http://www.labeee.ufsc.br/projetos/base-brasileira-de-dados-em-conforto-termico

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é documentar o desenvolvimento da base brasileira de dados em conforto térmico, descrevendo suas características gerais e resultados principais.

3 MÉTODO

A base brasileira de dados em conforto térmico[1] consiste em um conjunto de informações relativas ao ambiente térmico e aos usuários das edificações de uso comercial diverso. Esses dados são provenientes de estudos de campo em ambientes internos durante a sua ocupação cotidiana (ambientes "reais" com ocupantes geralmente habituados a esses espaços).

Até o momento, os dados documentados são provenientes de ambientes educacionais e de escritórios, nos quais se tem uma quantidade considerável de usuários dentro de um mesmo espaço. De acordo com o protocolo da base, os dados referentes ao ambiente térmico (temperatura do ar e média radiante, umidade relativa e velocidade do ar) devem ser registrados por meio de instrumentos apropriados e previamente calibrados, ao mesmo tempo em que as respostas subjetivas dos ocupantes – percepção térmica e de movimento do ar – devem ser coletadas por meio de questionários. O método para a coleta desses dados deve estar de acordo com a proposta de norma brasileira a ser incorporada na NBR 16401-2 (ABNT, 2017). Os dados dos estudos de campo contidos na base atendem as exigências mínimas da Classe 2 de De Dear, Brager e Cooper (1997), uma vez que as medições das variáveis ambientais internas foram efetuadas em apenas uma altura de medição. Em relação aos questionários aplicados, foram reunidos os dados referentes às características antropométricas (gênero, idade, peso, altura, taxa metabólica e isolamento da vestimenta – estes dois últimos estimados de acordo com as tabelas da ABNT (2017), questões relacionadas à sensação, preferência e aceitabilidade térmica e do movimento do ar. Em todos os estudos notou-se que os pesquisadores estiveram atentos às alterações na atividade física e/ou vestimenta durante o monitoramento, bem como aos controles e recursos disponíveis para adaptação térmica dos pesquisados. Os métodos utilizados nos estudos de campo podem ser analisados detalhadamente a partir das referências da Tabela 1.

3.1 Organização da base brasileira de dados

Para a elaboração da base de dados unificada, foram reunidos e codificados os dados brutos dos estudos de campo realizados no Brasil conforme a Tabela 1. O modelo para a padronização dos dados levantados pode ser encontrado na página eletrônica do projeto[1], junto com a planilha eletrônica para inserção e envio dos dados e demais orientações para a coleta em campo. De forma geral, devem ser registradas as características geográficas e da edificação, caracterização dos usuários e das variáveis ambientais internas e externas, e a avaliação do ambiente térmico e do movimento do ar conforme a Tabela 2.

Na planilha eletrônica disponibilizada, cada linha corresponde a um momento de voto de um usuário, e o total de linhas ao total de registros de dados (n). A temperatura operativa interna foi calculada para toda a amostra com base nas recomendações da NBR 16401-2 (ABNT, 2017). Os dados de variáveis ambientais externas (temperatura do ar e umidade relativa), quando presentes, foram obtidos por meio da estação meteorológica mais próxima do local do levantamento. A partir da planilha organizada, adotou-se um procedimento para a limpeza de dados discrepantes ou com respostas equivocadas, conforme:

- Respostas simultâneas de ambiente térmico "inaceitável" e "confortável";
- Respostas simultâneas de ambiente térmico "inaceitável" e por "não mudar" o ambiente térmico;
- Respostas simultâneas de ambiente térmico "desconfortável" e por "não mudar" o ambiente térmico;
- Respostas simultâneas de movimento do ar "inaceitável" e por "não mudar" o movimento do ar.

No total, foram excluídas 175 respostas (1,6% de um total de 11.100 dados) que se enquadraram em pelo menos uma das condições citadas acima, resultando assim em uma amostra final de 10.925[2] votos.

Tabela 1 – Estudos de campo em conforto térmico no Brasil registrados na base de dados nacional

Título	Autor	Ano	Amostra (n)
Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividades sedentárias - teoria física aliada a estudos de campo	Xavier	2000	279
Análise dos níveis de conforto térmico em um edifício de escritórios na cidade de Maringá	Gomes	2003	567
Aceitabilidade do movimento do ar e conforto térmico em climas quentes e úmidos	Cândido	2010	2.075

[2] Número total da amostra considerada na análise dos resultados. Não contempla os dados de Xavier (2000) devido à não formatação de acordo com os critérios da Base Brasileira de Dados de Conforto Térmico.

Condições de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar em salas de aula com ventiladores de teto para o clima de Florianópolis/SC	De Vecchi	2011	2.507
Avaliação de conforto térmico em edificações comerciais que operam sob sistemas mistos de condicionamento ambiental em clima temperado e úmido	De Vecchi	2015	2.688
Conforto térmico em ambientes de escritórios naturalmente ventilados: pesquisa de campo na cidade de Florianópolis por meio da abordagem adaptativa	Pires	2015	455
Análise das condições de conforto térmico no clima quente e úmido de São Luís (MA): estudos de campo em salas de aula naturalmente ventiladas e climatizadas	Buonocore	2018	2.680
Potencial de incremento do conforto térmico dos usuários em escritórios com o uso de ventiladores de mesa durante o verão	André	2019	383

Tabela 2 – Descrição da planilha da base brasileira de dados

	Nome do campo	**Descrição**
Referência	Referência	Referência bibliográfica da tese ou dissertação de onde provém os dados
	Data	Data do levantamento
Caracteri-zação ambiental	Cidade	Cidade brasileira na qual foi realizado o estudo de campo
	ClassificaçãoClima	Classificação de para o clima local (KOTTEK et al., 2006)
	Estação	Definição da estação do ano na qual o estudo de campo ocorreu (primavera, verão, outono, inverno, estação chuvosa, estação seca)
	TipoAmbiente	Uso do ambiente (escritório, sala de aula, sala de projeto)
	Tipo Condicionamento	Sistema de climatização disponível (ar condicionado, ventilação natural com ou sem ventiladores, modo misto)
	ModoOperação	Sistemas de climatização operantes no momento de resposta
Caracteri-zação do usuário	Gênero	Gênero (Masculino ou Feminino)
	Idade	Idade, agrupada em categorias de anos (1: abaixo de 20 anos; 2: entre 21 e 30 anos; 3: entre 31 e 40 anos; 4: entre 41 e 50 anos; 5: acima de 50 anos)
	Peso	Peso (kg)
	Altura	Altura (m)
	IMC	Índice de massa corpórea calculado a partir do peso e altura (kg/m²)
	TaxaMetabólica	Taxa metabólica (unidades met)
	IsolamentoTotal	Isolamento da vestimenta e da cadeira do usuário somadas (unidades clo)
	MemóriaTérmica	Determina se o indivíduo possui vivência rotineira em ambientes com ar condicionado (1: não e 2: sim)
Respostas do usuário	Preferência Condicionamento	Preferência do indivíduo por um sistema de condicionamento para o ambiente estudado (0: ventilação natural; 1: ventilação natural e ventiladores; 2: ar condicionado; 3: ar condicionado e ventilação natural)
	ST	Sensação térmica, de acordo com a escala sétima, de -3: muito frio, a +3: muito quente
	PT	Preferência térmica, -1: mais aquecido; 0: não mudar; +1: mais resfriado
	AT	Aceitabilidade térmica, 0 (aceitável) ou 1 (inaceitável)
	CT	Conforto térmico, 0 (confortável) ou 1 (desconfortável)
	AMA	Aceitabilidade do movimento do ar. -2: inaceitável, muito mov.; -1: aceitável, muito mov.; 0: aceitável, suficiente; +1: aceitável, pouco mov.; +2: inaceitável, pouco mov.
	AMAbinário	Aceitabilidade do movimento do ar em binário: 0 (aceitável) ou 1 (inaceitável)
	PAM	Preferência por movimento do ar. -1: menor mov.; 0: não mudar; +1: maior mov.
Dados internos	Ta	Temperatura do ar interno, em °C
	UR	Umidade relativa do ar interno, em %
	Va	Velocidade média do ar interno, em m/s
	To	Temperatura operativa interna, em °C
Dados externos	AirTempExt	Temperatura do ar externo, em °C
	RHExt	Umidade relativa do ar externo, em %
	Tmpa	Temperatura média predominante do ar externo, em °C

Para o processamento dos dados e comparação das médias de amostras não pareadas adotou-se o Teste-T de Welch (método de Spearman para amostras de distribuição não normal e variáveis categóricas). O teste de hipótese foi efetuado em linguagem de programação R, por meio da interface RStudio. O nível de significância adotado para o teste foi de 5% (p-valor < 0.05).

4 RESULTADOS

4.1 Apresentação dos dados

Atualmente o banco de dados possui 10.925 votos. Estão incluídos nesse total os levantamentos realizados em quatro cidades brasileiras como mostrado na Tabela 3. A maioria dos dados refere-se à cidade de Florianópolis (região Sul, mais de 6 mil votos), enquanto no Nordeste esse número é superior a 4 mil

questionários. De acordo com a classificação de Koppën-Geiger (Kottek et al., 2006), os dados identificados correspondem a três tipos climáticos presentes no Brasil: Aw, Am e Cfa.

Os climas com prefixo A (Aw e Am), são caracterizados por temperaturas médias superiores a 18 °C ao longo de todo o ano, com duas estações definidas: uma seca e a outra chuvosa. A principal diferença é que o clima tropical de inverno chuvoso (Aw) apresenta, no geral, menor precipitação anual do que o tropical de monção (Am). Assim, ao avaliar os resultados por estação, é necessário considerar que os climas tropicais possuem apenas duas estações definidas, enquanto nos outros climas verificam-se as quatro estações do ano.

Tabela 3 – Localização dos dados do levantamento

Cidade	**Estado**	**Região**	**Classificação do Clima**	**Nº de questionários**
São Luís	Maranhão	Nordeste	Aw	2.665
Maceió	Alagoas	Nordeste	Am	2.006
Florianópolis	Santa Catarina	Sul	Cfa	5.704
Maringá	Paraná	Sul	Cfa	550

Dentre os dados provenientes do clima Cfa, há predominância de valores no inverno e outono, correspondendo a 71% dos votos. Nos climas tropicais, há maior equilíbrio entre as estações de forma que 45% do total de votos foram coletados durante a estação chuvosa (ou úmida), e 55% durante a estação seca.

Com relação ao uso dos espaços onde os estudos foram realizados, a maior parte (62%) corresponde aos ambientes escolares (universitários). Os demais dados, que correspondem a 38% do total, se referem a ambientes de escritório. Os ambientes são, em grande parte, naturalmente ventilados (37%) ou condicionados de forma mista (40%). Apenas 23% dos dados foram coletados em ambientes constantemente condicionados artificialmente (AC).

Na Figura 1 podem ser observados os tipos de sistemas e modo de operação voltados à climatização dos ambientes, que incluem: ar condicionado (AC), ventilação natural (VN), ventilação natural em conjunto com o uso de ventiladores (VN+ventilador), apenas ventiladores, e ar condicionado em conjunto com o uso de ventiladores (AC+vent.). Durante o tempo de respostas dos ocupantes, verifica-se que a ventilação natural (VN) é o modo de operação predominante nos ambientes de modo misto (≅32%). Nota-se que existe um número significativo de respostas com ventiladores ligados, principalmente simultâneos ao uso do ar condicionado (≅28%). Os dados referentes ao agrupamento "Apenas ventiladores" (≅24%) referem-se aos momentos em que apenas ventiladores estavam em operação, com as janelas fechadas (ver De Vecchi 2011).

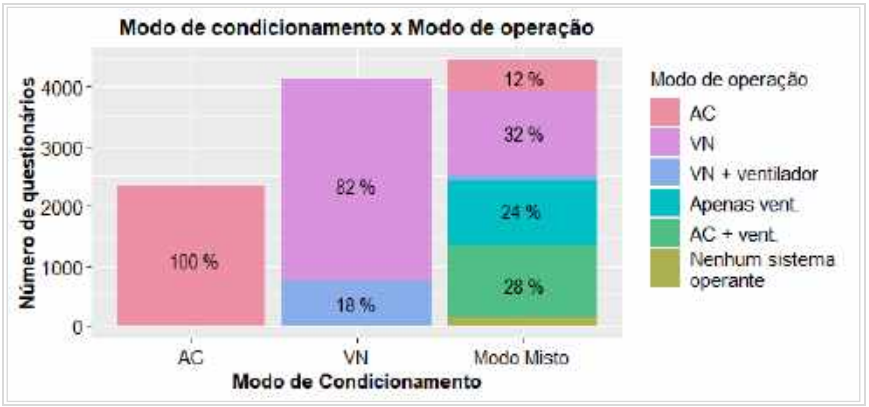

Figura 1 – Número de respostas por tipo de espaço e modo de operação

Com relação às características dos usuários, há mais respostas femininas (60%) do que masculinas (40%). Porém, as mulheres predominaram principalmente nos levantamentos efetuados nos climas tropicais (Am e Aw). No clima subtropical úmido (Cfa), a diferença entre gêneros é muito pequena. Em relação à idade, nota-se pela Figura 2 que a maioria dos usuários tem até 30 anos. Faixas superiores foram verificadas principalmente no clima Cfa, pois se relacionam aos ambientes de escritório, enquanto os demais se concentram em ambientes escolares. Além disso, em 3,4% dos dados não foi solicitada a indicação do gênero e, em 3,8% não foi solicitada a indicação da idade (NA).

As demais variáveis pessoais e ambientais estão descritas nas Tabela 4 e Tabela 5, respectivamente. De acordo com a distribuição de valores da Tabela , a taxa metabólica (MET) indica menor variação entre os dados, com desvio padrão de 0,1 e média de 1,1 met (sentado em atividade sedentária). Com relação ao índice de massa corpórea (IMC), os valores de média, mediana e desvio padrão indicam que, no geral, os

usuários avaliados possuem nível de nutrição considerado normal, isto é, entre 18,5 e 25,0 (WHO, 2015). Com relação ao isolamento da vestimenta dos usuários (CLO), existe certa predominância ao uso de roupas mais leves, como calça e camiseta de manga curta (0,5 clo), que varia conforme a estação do ano: os valores de clo são predominantemente superiores a 0,5 clo no inverno - quando atingem o valor máximo de 1,49 clo – e nas demais estações, a vestimenta se mantém predominantemente abaixo de 0,5 clo.

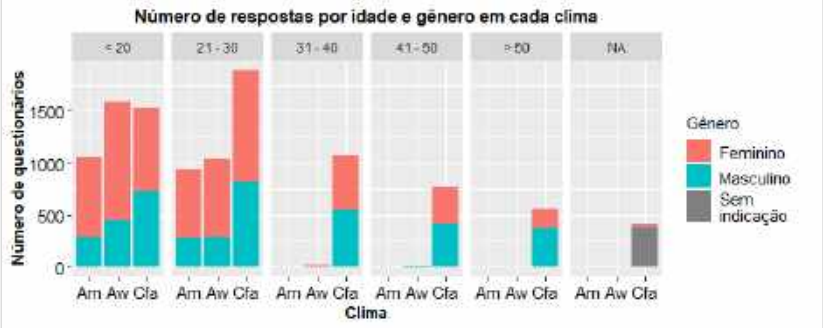

Figura 2 – Número de respostas por tipo de clima, idade e gênero

Tabela 4 – Caracterização das variáveis pessoais contínuas[3]

	IMC	**MET**	**CLO**
Máximo	40,1	2,0	1,49
Mediana	22,0	1,0	0,50
Média	22,8	1,1	0,53
Desvio padrão	3,7	0,1	0,19
Mínimo	15,1	1,0	0,22

Com relação às variáveis ambientais internas, nota-se na Tabela 5 grande variação entre máximas e mínimas registradas. No entanto, observa-se que os valores médios estão próximos aos predominantes, com pequenos desvios padrão. As temperaturas do ar e operativa possuem variações próximas (os valores médios e medianos coincidem), mostrando que a faixa principal de temperaturas está próxima de 25,9 °C, com desvio padrão de ± 2,9 °C. Embora o valor máximo registrado para a velocidade média do ar seja alto, a média ainda é considerada baixa (0,26 m/s), com um desvio de ± 0,29 m/s. Os valores altos (acima de 2,0 m/s) são encontrados em 37% dos dados, e ocorrem, principalmente, nos ambientes onde há ventiladores ligados. A umidade relativa do ar interno, conforme indicado na tabela, se concentra em torno de 64%, valor que coincide com a média.

Tabela 5 – Caracterização das variáveis ambientais

	Temp. do ar (°C)	**Umidade relativa (%)**	**Velocidade do ar (m/s)**	**Temp. operativa (°C)**
Máximo	32,9	89	4,17	32,9
Mediana	25,8	64	0,18	25,7
Média	25,9	64	0,26	25,9
Desvio padrão	2,9	11	0,29	2,8
Mínimo	15,4	23	0,00	16,6

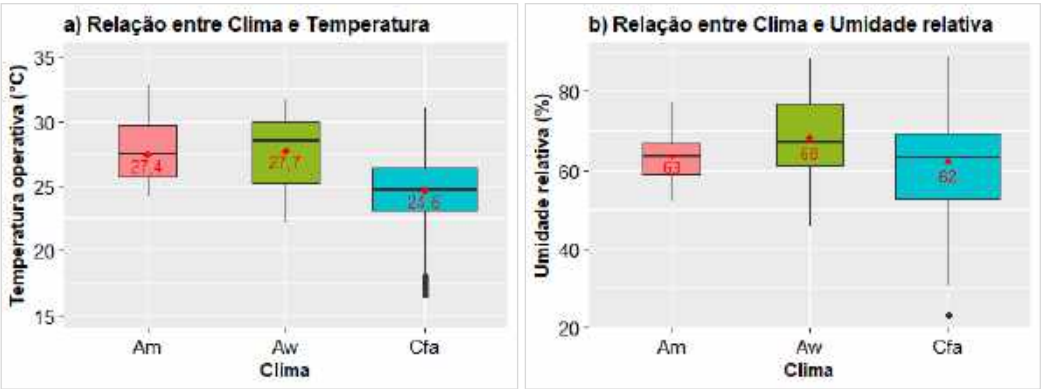

Figura 3 – Relação entre: a) clima e temperatura; b) clima e umidade relativa

[3] Os valores de MET e CLO foram requeridos em todos os levantamentos; porém, 9% dos dados não possuem informações sobre peso e altura, utilizados para o cálculo o IMC.

A partir da Figura 3, é possível verificar que as condições ambientais internas analisadas também se relacionam com os climas onde os levantamentos foram realizados. Desta forma, nota-se menor variação da temperatura operativa em climas tropicais, pois a amplitude de temperaturas registradas no clima subtropical é maior. A média das temperatura dos climas tropicais é de 27,6 °C, e no clima subtropical de 24,6 °C (indicada em vermelho na Figura 3a). Apesar do clima tropical de inverno chuvoso (Aw) apresentar índice pluviométrico anual inferior ao de monções (Am), a Figura 3b mostra que a umidade relativa dos ambientes avaliados nesse clima foi mais alta do que nos ambientes localizados no Am. A umidade relativa média (em vermelho na Figura 3b) registrada nos ambientes Am é mais próxima à média verificada no clima subtropical (Cfa), apesar de apresentarem diferença estatística significativa ($p<0,05$). Porém, enquanto a média de Am e Cfa têm diferença de 1 ponto percentual no valor médio da umidade relativa, a diferença em relação ao Aw é maior, de 6 pontos percentuais.

4.2 Percepção térmica dos usuários

Analisando os votos de sensação térmica dos usuários com base na escala sétima proposta por Fanger (1970), observa-se na Figura 4 que a sensação se relaciona diretamente com as temperaturas internas operativas. Menores temperaturas geram sensações relacionadas ao frio (-1 a -3), enquanto temperaturas mais altas se relacionam às sensações de calor (+1 a +3). Porém, temperaturas médias (indicadas em vermelho) não necessariamente são diferentes entre si em um mesmo clima, mesmo que exista diferença significativa entre eles. As temperaturas médias que geram muito frio (-3) nos dois climas são semelhantes (≅23 °C). Porém, no clima Cfa essa média também se aproxima da temperatura que gera frio (-2) e leve frio (-1). Enquanto isso, nos climas tropicais, há uma diferença de pelo menos 1°C entre as sensações de "-3", "-2" e "-1". Exceto no caso da sensação de muito frio (-3), as temperaturas médias que geram cada sensação térmica no clima Cfa são inferiores às dos climas tropicais. No Cfa a temperatura em torno de 24 °C gera neutralidade térmica (0), enquanto nos climas tropicais, frio (-2). Da mesma forma, uma temperatura em torno de 27° C gera neutralidade nos climas tropicais (0) e calor no clima subtropical (+2). Além disso, para que uma pessoa passe a sentir frio no clima Cfa, é necessária em média, uma variação de temperatura muito menor do que nos climas tropicais. Isso é, entre a temperatura média neutra (0) e de levemente frio (-1) no clima Cfa, há uma diferença menor, de 1 °C; enquanto nos climas tropicais, essa diferença é de quase 2 °C. No caso da sensação de calor, ocorre relação oposta: é necessário maior incremento da temperatura nos climas tropicais para que se comece a sentir calor em relação ao necessário para o clima subtropical.

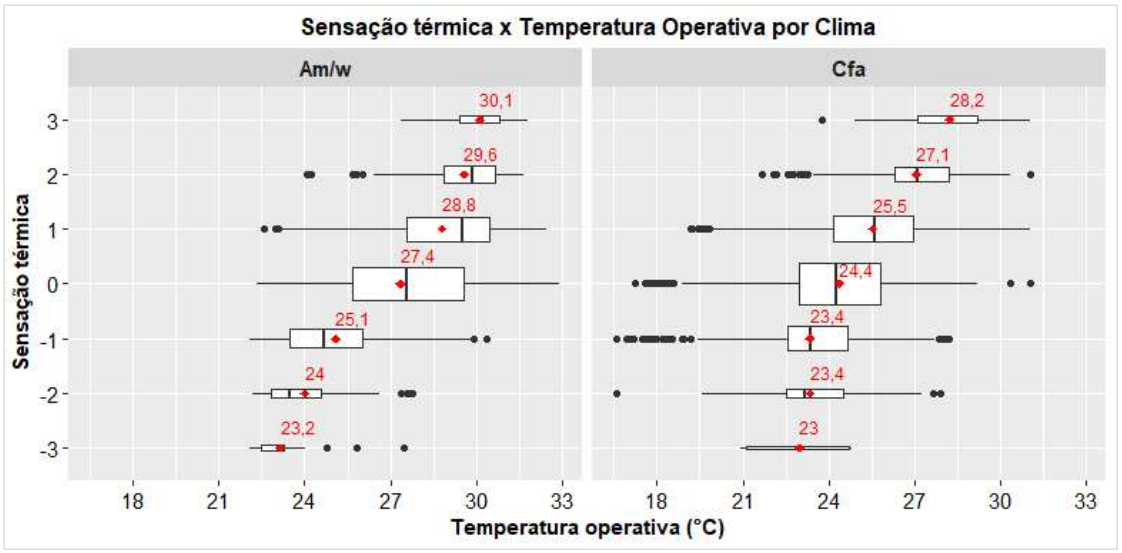

Figura 4 – Relação entre sensação térmica e temperatura operativa por clima

Dentre o agrupamento de votos de aceitabilidade e conforto térmico há menor quantidade de dados na base (n=7.904). Dessa forma, é possível apenas analisar os resultados para o clima tropical de inverno chuvoso (Aw) e subtropical (Cfa). Na Figura é possível verificar que as temperaturas médias e medianas que geram aceitabilidade e conforto térmico não coincidem. Na primeira figura são indicadas em vermelho as temperaturas médias que geram aceitabilidade e conforto térmico simultaneamente, para cada clima. Nota-se que os valores são próximos às temperaturas médias de neutralidade térmica indicadas na Figura 4. Há 3 °C de diferença entre as médias dos dois climas, de forma que a menor temperatura corresponde ao clima mais frio (Cfa), enquanto a mais elevada corresponde ao clima mais quente (Aw). No quadro central da Figura 5,

são mostradas as temperaturas consideradas desconfortáveis, porém aceitáveis termicamente. Observa-se que a temperatura média considerada desconfortável, porém aceitável, no clima Aw é 2 °C superior à média de conforto e aceitabilidade desse clima. Por outro lado, no clima Cfa há uma diferença de apenas 1 °C entre as médias consideradas confortável e desconfortável. Tais resultados sugerem que os usuários do clima Cfa podem ser mais sensíveis às alterações de temperatura do que no clima Aw. Outro ponto importante é que as médias de desconforto térmico e aceitabilidade correspondem às médias de sensação de levemente calor (+1), conforme Figura 4, o que indica que o desconforto térmico passa a ocorrer a partir dessa temperatura e por conta da sensação de calor, no geral.

No último quadro da Figura 5, à direita, são apresentadas as temperaturas consideradas desconfortáveis e inaceitáveis. Nota-se que a temperatura média do clima Aw se mantém próxima à média de aceitabilidade e desconforto, porém há um incremento na mediana e quartil superior e inferior de 0,3 °C. No caso do clima subtropical, o incremento é mais expressivo, de 1 °C, tanto na média quanto na mediana e quartis em relação às temperaturas de desconforto e aceitabilidade. Isso indica que apesar dos usuários no clima Cfa serem mais sensíveis às mudanças de temperatura, é preciso uma mudança mais expressiva para que eles considerem o ambiente inaceitável. A maior aceitabilidade dos usuários do clima Cfa em relação ao Aw também é verificada quando se comparam os percentuais de usuários que consideram o ambiente desconfortável e aceitável com aqueles que consideram o ambiente desconfortável e inaceitável; a diferença percentual é maior no Aw (30%), e menor no Cfa - diferença de apenas 18%. Entretanto, nos dois climas as temperaturas indicadas como inaceitáveis são mais altas que aquelas consideradas desconfortáveis, se relacionando ao incremento da sensação de calor. Ainda nos dois climas, há maior percentual de desconforto do que de inaceitabilidade térmica.

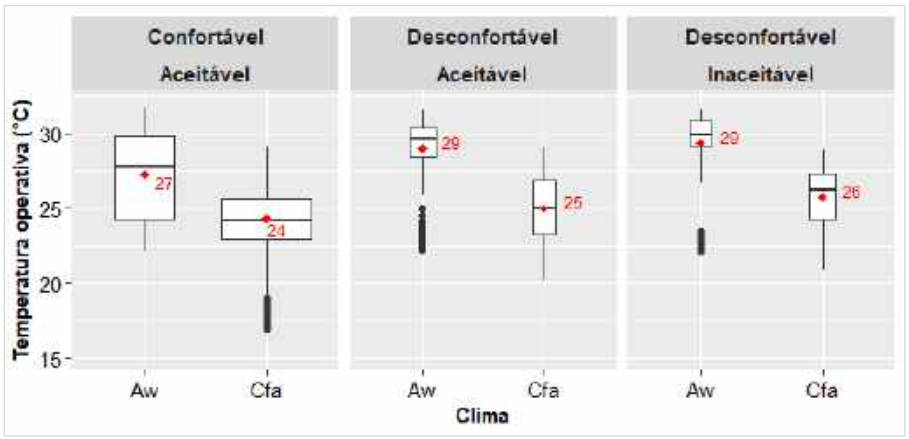

Figura 5 – Relação entre aceitabilidade e conforto térmico por clima

A sensação térmica afeta ainda a preferência térmica dos ocupantes. No geral, espera-se que as pessoas com calor (+1, +2 e +3) prefiram ambientes mais frios, enquanto aquelas com sensação de frio (de -1 a -3) prefiram ambientes mais quentes. Na base nacional, apenas 83% dos dados apresentam respostas sobre a preferência térmica (n=9.095). Ao analisar esses dados, é possível perceber que a relação entre sensação e preferência térmica é influenciada significativamente pelo modo de condicionamento do ambiente, como mostra a Figura 6. De forma geral, observa-se um número maior de usuários em desconforto por frio em ambientes com ar condicionado (AC), quando comparados aos ambientes naturalmente ventilados (VN). O percentual de usuários que prefeririram que o ambiente estivesse mais aquecido no AC é maior do que em VN. Nos ambientes condicionados, 16,8% dos usuários prefeririam que o ambiente estivesse mais aquecido, e 16,6% prefeririam que estivesse mais resfriado, indicando um equilíbrio entre os votos. Porém, no caso dos ambientes VN, 59% dos usuários prefeririam que o ambiente estivesse mais frio, e apenas 4,5% preferiram que estivesse mais quente. A preferência pelo ambiente mais refrigerado, no caso dos espaços VN (59%), ultrapassa o percentual de votos indicando que gostariam de não modificar a condição do ambiente (37%). No caso dos ambientes de modo misto, como a operação da ventilação natural foi mais frequente (verFigura), houve um percentual maior de usuários que prefeririam que o ambiente estivesse mais frio (18,7%), enquanto o percentual que preferiu o ambiente mais quente foi de 13%. Nos ambientes com modo misto verifica-se ainda maior relação entre a neutralidade térmica e a preferência pela não modificação da condição atual (68%), enquanto nos ambientes AC esse valor é de 66%; nos ambientes VN, 37%.

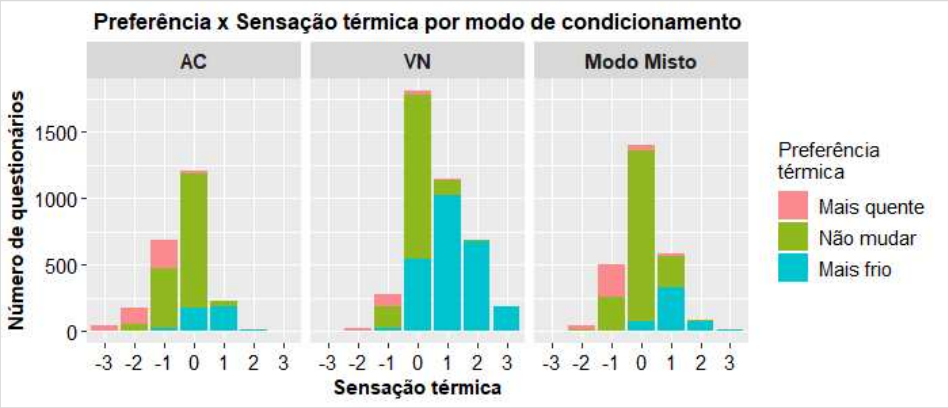

Figura 6 – Relação entre sensação térmica e preferência térmica

Com base nos resultados apresentados, é possível notar que as preferências e percepções térmicas dos usuários dentro do território nacional não devem ser unificadas, já que sofrem significativa influência do clima e modo de condicionamento do ambiente. Além disso, as diversas relações entre as variáveis incluídas na base podem ser mais bem exploradas para a compreensão das características gerais e conforto térmico da população brasileira em seus diferentes contextos climáticos e culturais.

5 CONCLUSÕES

A base brasileira de dados conta hoje com 10.925 votos, resultantes de pesquisas realizadas em campo em quatro cidades brasileiras: São Luís, Maceió, Florianópolis e Maringá, agrupadas em dois climas principais, tropical (tropical de inverno chuvoso e de monções) e subtropical.

De forma geral, a sensação térmica dos usuários apresentou relação com o clima em que estes estão aclimatados. O voto de neutralidade está associado a uma temperatura média de 27,4 ºC nos climas tropicais e de 24,4 ºC no clima subtropical, com valores mais altos nos climas mais quentes. O mesmo ocorreu nas temperaturas consideradas confortáveis e aceitáveis, com valor médio de 27 ºC e 24 ºC, respectivamente. As temperaturas associadas à sensação de desconforto e inaceitabilidade também foram mais altas para os climas tropicais (29 ºC nos climas tropicais e 26 ºC no subtropical). Considerando o modo de operação dos ambientes, percebe-se a relação entre a percepção de conforto dos usuários: em ambientes condicionados, 33,5% gostariam de alterar as condições do ambiente (para mais quente ou mais frio); nos ambientes ventilados naturalmente, 59 % preferiria que o ambiente estivesse mais frio. Em relação à preferência pela não modificação do ambiente, constata-se maior ocorrência nos ambientes de modo misto (68% dos votos), seguido pelos ambientes condicionados (66%), e ventilados naturalmente (37%).

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que há importantes variações na percepção térmica entre as pessoas de diferentes climas, sendo ainda influenciada pela forma condicionamento do ambiente. Ainda há muito a ser explorado na base nacional; entretanto, para que os resultados possam auxiliar na definição de normativas apropriadas ao contexto brasileiro, é necessário expandir a amostra buscando maior variabilidade climática, bem como tipos de construção e ocupantes com características distintas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **3° Projeto de revisão NBR 16401-2 Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico.** Rio de Janeiro, 2017.

ANDRÉ, M. A. **Potencial de incremento do conforto térmico dos usuários em escritórios com o uso de ventiladores de mesa durante o verão**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2019.

ANDREASI, W. A. **Método para avaliação de conforto térmico em região de clima quente e úmido do Brasil**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

ARAÚJO, V. M. D. **Parâmetros de conforto térmico para usuários de edificações escolares no litoral nordestino brasileiro**. Tese de Doutorado. Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996. 179p.

ASHRAE STANDARD 55-2004. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, GA: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004.

BARBOSA, M. M. P. **Avaliação de conforto térmico na indústria moveleira de Itatiba, SP**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura. Campinas, 2004. 125pp.

BUONOCORE, C. **Análise das condições de conforto térmico no clima quente e úmido de São Luís (MA): estudos de campo em salas de aula naturalmente ventiladas e climatizadas**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

CÂNDIDO, C. **Indoor air movement acceptability and thermal confort in hot-humid climates**. PhD Thesis. Department of Civil Engineering, Federal University of Santa Catarina. Florianópolis, 2010: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. S.; COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference: Final Report on ASHRAE RP - 884**. Sydney.

DE VECCHI, R. **Condições de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar em salas de aula com ventiladores de teto para o clima de Florianópolis/SC**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

DE VECCHI, R. **Avaliação de conforto térmico em edificações comerciais que operam sob sistemas mistos de condicionamento ambiental em clima temperado e úmido**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

FANGER, P. O. **Thermal comfort - analysis and applications in environmental engineering**. Copenhagen: Darlish Techinical Press, 1970.

FÖLDVÁRY LIČINA, V. et al. Development of the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II. **Building and Environment**, v. 142, p. 502–512, 1 set. 2018.

GOMES, C. H. DE G. **Análise dos níveis de conforto térmico em um edifício de escritórios na cidade de Maringá**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003. 129p.

GONÇALVES, W. **Estudo de índice de conforto térmico, avaliados com base em população universitária na região metropolitana de Belo Horizonte/MG)**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2000.

GOUVÊA, T. C. **Avaliação do conforto térmico: uma experiência na indústria da confecção**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura. Campinas, 2004. 164pp.

HUMPHREYS, M. Field studies of thermal comfort compared and applied. **Building Research Station**, v. 44, p. 5–27, 1976.

ISO 7730. **Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, ISO 7730:2005**. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2005.

KOTTEK, M. et al. World Map of Köppen − Geiger Climate Classification. **Meteorol. Z.**, v. 15, p. 259–263, 2006.

OLIVEIRA, M. C. A. DE; LABAKI, L. C. **Avaliação de conforto térmico no Brasil: a pesquisa de Paulo Sá no Rio de Janeiro, nas décadas de 1930 a 1950. Uma aproximação com o método adaptativo**. ENCAC 2003 - VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído. **Anais**...Curitiba: 2003

PIRES, M. O. **Conforto térmico em ambientes de escritórios naturalmente ventilados : pesquisa de campo na cidade de Florianópolis por meio da abordagem adaptativa**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

RUAS, A. C. **Avaliação de conforto térmico – contribuição à aplicação das normas internacionais**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura. Campinas, 1999. 78pp.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **BMI classification**. Disponível em: <http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html>. Acesso em: 9 jul. 2015.

XAVIER, A. A. P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2° grau da região de Florianópolis**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

XAVIER, A. A. P. **Predição de conforto térmico em ambientes internos com atividade sedentária - teoria física aliada à estudos de campo**.Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.