

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Renata De Vecchi

**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 submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil
Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD.

Florianópolis
2011

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

D489c De Vecchi, Renata

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] / Renata De
Vecchi ; orientador, Roberto Lambers. - Florianópolis, SC,
2011.

142 p.: il., grafs., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Conforto térmico. 3. Eficiência
técnica. 4. Ar - Velocidade - Fatores climáticos. I. Lambers,
Roberto. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 624

Renata De Vecchi

**CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO E ACEITABILIDADE
DA VELOCIDADE DO AR EM SALAS DE AULA COM
VENTILADORES DE TETO PARA O CLIMA DE
FLORIANÓPOLIS/SC.**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “MESTRE”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 11 de Junho de 2011.

Prof^a. Janaíde Cavalcante Rocha , PhD.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof., Roberto Lamberts, PhD.
Orientador, UFSC

Prof., Leonardo S. Bittencourt, PhD.
UFAL

Prof., Enedir Ghisi, PhD.
UFSC

Prof., Fernando O. R. Pereira, PhD.
UFSC

Aos meus pais...

AGRADECIMENTOS

Contei com o apoio e colaboração de diversas pessoas a quem gostaria de expressar o meu sincero reconhecimento:

Ao meu orientador, professor Roberto Lamberts, pela confiança depositada em mim e no meu trabalho, por todo ensinamento durante o curso e valiosa orientação. Sem esquecer-me de suas gargalhadas contagiadas que faziam com que eu seguisse sempre em frente.

À minha amiga e co-orientadora (mesmo que informalmente), Christhina Maria Cândido, pelas preciosas contribuições em todo o trabalho, apoio indispensável e atenção dedicada durante as nossas reuniões pelo skype, e até mesmo durante uma cerveja e outra.

Aos meus pais, Osmar e Marly, irmãos Rodrigo e Rafael, e meu querido companheiro Marcelo, pela amizade incontestável, amor e carinho. Obrigada por estarem sempre comigo nos momentos mais difíceis e emocionantes desta dissertação.

Ao professor Saulo Güths e ao Alexandre Dutra Alves do LMPT/UFSC pela grande disposição e auxílio com os equipamentos utilizados na realização do experimento de campo deste trabalho. Por todas as conversas, conselhos e amizade.

Aos professores: Alice Viana, Armando Valério Di Bernardi, Conrado Lacerda, David Franco, Eneir Ghisi, Ivo Cesar Martorano, João Eduardo Di Pietro, Luis Alberto Gómez, Luiz Eduardo Fontoura, Luís Fugazzola Pimenta, Luis Guilherme Rego, Maicon Marques Alves e Manoel Petrucelli Homem, que cederam gentilmente algumas de suas aulas para a realização do experimento, sem as quais não haveria resultado algum.

A todos os alunos de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Ambiental, Civil e de Produção Sanitária, Física e Matemática que levaram a sério esta pesquisa e responderam pacientemente a todas as perguntas dos questionários aplicados durante as aulas.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Elvira Viveiros, Eneir Ghisi, Fernando Oscar Rutkay Pereira,

Luis Alberto Gómez, Luis Roberto Prudêncio Júnior, Martin Ordenes, Saulo Güths, Solange Goulart e Roberto Lamberts pelas disciplinas ministradas com grande competência.

Aos queridos amigos e companheiros de pesquisas do LabEEE: Cláudia M., Mariana, Rogério, Miguel, Márcio, Ricardo, Ulisses, Martin, Andréa, Deivis e Ana Kelly pelas conversas animadas, almoços no restaurante universitário, contribuições científicas e parceria nos momentos de descontração.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos, indispensável para a realização do trabalho.

À Marinea Vieira, secretária da Pós-Graduação e a todos os demais funcionários do Departamento de Engenharia Civil, pela disponibilidade na prestação de serviços.

À incrível banda inglesa “The Kooks”, que mesmo sem saber, embalou a trilha sonora deste trabalho.

E a todos que de uma maneira ou outra, contribuíram para a realização desta dissertação. Obrigada.

“A essência do conhecimento científico está na sua aplicação prática”.

Confúcio (551-479 a.C.)

RESUMO

A predição da situação de conforto térmico em ambientes ventilados naturalmente tem sido discutida em vários estudos nos quais a possibilidade de se alcançar maior aceitabilidade térmica através do incremento na velocidade do ar é enfatizada. Estudos de campo constataram que ocupantes expostos a ambientes ventilados naturalmente toleram temperaturas mais altas, sendo que a velocidade do ar pode chegar até 2,5 m/s. No entanto, valores superiores a 0,8 m/s não se enquadram nos limites de velocidade do ar de normas internacionais como a ASHRAE 55-2004 e ISO 7730/05. Sendo assim, este estudo tem como objetivo principal a investigação das condições de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar em salas de aula com valores mais altos de velocidade do ar, incrementados através do uso de ventiladores de teto. Os experimentos de campo foram realizados em Florianópolis/SC durante as estações mais quentes, resultando em 2.507 questionários. As variáveis microclimáticas internas tais como a temperatura, velocidade e umidade relativa do ar foram monitoradas continuamente, enquanto os ocupantes respondiam a um questionário de aceitabilidade térmica e de velocidade do ar. As análises foram feitas a partir do índice SET (*Standard Effective Temperature*) e os resultados foram apresentados em forma de gráficos e tabelas através do cruzamento entre os dados microclimáticos e as respostas dos usuários. Os resultados mostraram que os ocupantes aceitaram ambientes térmicos com um valor de SET de 19°C até 23°C, onde a velocidade do ar teve papel essencial na obtenção de conforto térmico. A inaceitabilidade térmica ocorreu em maior parte durante os intervalos mais baixos de velocidade, que foram observados entre 0,10 e 0,40 m/s. Os ocupantes também aceitaram valores de velocidade do ar acima dos padrões internacionais (i.e 0,8m/s). Houve disparidades na preferência térmica e aceitabilidade dos ocupantes com exposição prévia a ambientes climatizados. Os resultados encontrados ressaltam ainda a importância no aumento da velocidade do ar e oportunidades adaptativas aos ocupantes, tanto para a aceitabilidade térmica, como para a satisfação em climas quentes e úmidos.

Palavras-chave: Conforto térmico · eficiência energética · aceitabilidade da velocidade do ar · climas quentes e úmidos.

ABSTRACT

The prediction of the thermal comfort in naturally ventilated environments has been discussed in some studies in which the possibility of achieving thermal acceptability by air velocity enhancement is emphasized. Field studies have found that occupants exposed to naturally ventilated environments tolerates higher temperatures, as long as air velocity can reach up to 2.5 m/s. However, values higher than 0,8m/s do not comply with international standards such as ASHRAE 55-2004 and ISO 7730/05. This study aims to investigate occupants overall thermal comfort and acceptability in classrooms with higher air velocity values, enhanced through the use of ceiling fans. Field experiments were carried out in Florianopolis/SC, during the warmer seasons, resulting in 2,057 questionnaires. Indoor microclimatic environments such as temperature, velocity and relative humidity were continuously monitored whilst occupants answered the thermal air movement acceptability questionnaire. Analyses were made from the SET index (Standard Effective Temperature), and the results were present in graphs and tables with the intersection between the indoor microclimatic environments and subject's answers. The results showed that occupants accepted their thermal environments with the SET value to 19°C up to 23°C, where the air velocity played an essential role to achieve thermal comfort. The thermal unacceptability occurred mostly during the lower speed ranges, observed between 0,10 and 0,4 m/s. The occupants also accepted air velocity values above international standards limits (i.e. 0,8m/s). There were differences in thermal preference and acceptability of occupants with prior exposure to air conditioned environments. These results highlight the importance of air movement enhancement and adaptive opportunities, both for occupants' thermal comfort and satisfaction in hot-humid climates.

Keywords: Thermal comfort · air velocity acceptability · adaptive opportunities · hot-humid climates · energy saving.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABELAS	7
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	4
2 REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 O CONCEITO DE CONFORTO TÉRMICO.....	5
2.2 CONFORTO TÉRMICO E OS LIMITES PARA A VELOCIDADE DO AR	12
2.3 CONSUMO ENERGÉTICO PARA OBTENÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO	22
2.4 CONTEXTO CLIMÁTICO DE FLORIANÓPOLIS/SC.....	32
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 AMBIENTES DE MEDIÇÃO	37
3.2 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	40
3.3 QUESTIONÁRIO	42
3.4 EXPERIMENTO PILOTO.....	45
3.5 PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO.....	46
3.6 PROTOCOLO DE MEDIÇÃO.....	47
3.7 ANÁLISE DOS DADOS	48
3.8 TRATAMENTO DOS DADOS E OBTENÇÃO DO SET*	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 MAPEAMENTO DA VELOCIDADE DO AR NAS SALAS.....	51
4.2 RESUMO DOS DADOS OBTIDOS NO EXPERIMENTO	58
4.3 SENSÇÃO, ACEITABILIDADE E PREFERÊNCIA TÉRMICA.....	64
4.4 ACEITABILIDADE E PREFERÊNCIA DA VELOCIDADE DO AR.....	73
4.5 EXPOSIÇÃO PRÉVIA E PREFERÊNCIA DE CONDICIONAMENTO	86
5 CONCLUSÕES	99
5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	100
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
APÊNDICES	115

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

FIGURA 2.1 – ESCALA DE VALORES DE PMV E PPD.	7
FIGURA 2.2 – ESCALAS TÉRMICAS DE BEDFORD (1936), OSGOOD (1957), ROHLES E NEVINS (1971) E MCINTYRE (1980)	10
FIGURA 2.3 – PORCENTAGEM DE PESSOAS QUE SENTEM DESCONFORTO CAUSADO PELA CORRENTE DE AR	15
FIGURA 2.4 - ÍNDICE DE CONFORTO PROPOSTO PELA ANSI/ASHRAE 55/2004: VARIAÇÃO DE TEMPERATURA OPERACIONAL ACEITÁVEL EM AMBIENTES VENTILADOS NATURALMENTE	16
FIGURA 2.5 – POSIÇÃO DOS USUÁRIOS E DISPOSIÇÃO DAS MESAS DURANTE O EXPERIMENTO DE KHEDARI <i>ET AL.</i> (2000).....	18
FIGURA 2.6 – PRINCÍPIO DO AR PERSONALIZADO PROPOSTO POR FANGER, QUE SE BASEIA EM PEQUENAS QUANTIDADE DE AR PURO FORNECIDO DIRETAMENTE À ZONA DE RESPIRAÇÃO DOS OCUPANTES.....	21
FIGURA 2.7 – CRESCIMENTO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SETOR EM RELAÇÃO AO CRESCIMENTO DO PIB	23
FIGURA 2.8 - CONSUMO TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL.....	23
FIGURA 2.9 – PROJEÇÃO DE POSSE DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL. CENÁRIO TENDENCIAL.....	25
FIGURA 2.10 – CRESCIMENTO NO NÚMERO DE CONDICIONADORES DE AR PARA CADA CEM FAMÍLIAS, AVALIADO ENTRE OS ANOS DE 2000 A 2007.....	26
FIGURA 2.11 – PROPORÇÃO DE DOMICÍLIOS COM AR CONDICIONADO NOS ESTADOS UNIDOS E AUSTRÁLIA	27
FIGURA 2.12 – ESTRATÉGIAS PASSIVAS DE PROJETO PARA A OBTENÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO.	28
FIGURA 2.13 – CARTA BIOCLIMÁTICA PARA A ZONA 3	33
FIGURA 2.14 – FREQUÊNCIA MENSAL DE DIREÇÃO E INTENSIDADE DOS VENTOS ..	34

CAPÍTULO 3

FIGURA 3.1 – BLOCO DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, E LOCALIZAÇÃO DAS SALAS DE AULA	38
FIGURA 3.2 – LOCALIZAÇÃO E DISPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS NA SALA 02	39
FIGURA 3.3 – DETALHES DOS EQUIPAMENTOS DA SALA 02.....	39
FIGURA 3.4 – LOCALIZAÇÃO E DISPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS NA SALA 03	39
FIGURA 3.5 – DETALHE DOS EQUIPAMENTOS DA SALA 03.....	40
FIGURA 3.6 – ESTAÇÃO MICROCLIMÁTICA SENSU	40
FIGURA 3.7 – TERMO-ANEMÔMETRO PORTÁTIL UTILIZADO NO EXPERIMENTO.....	41
FIGURA 3.8 – QUESTIONÁRIO APLICADO – PARTE A.	44
FIGURA 3.9 – QUESTIONÁRIO APLICADO – PARTE B.	44

FIGURA 3.10 – QUESTIONÁRIO APLICADO – PARTE C.	44
FIGURA 3.11 – ESQUEMA ADOTADO PARA A REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	48

CAPÍTULO 4

FIGURA 4.1 – MAPEAMENTO DAS VELOCIDADES DO AR NA SALA 02 COM OS VENTILADORES LIGADOS E SEM O USO DE AR CONDICIONADO.....	52
FIGURA 4.2 – MAPEAMENTO DAS VELOCIDADES DO AR NA SALA 02 COM OS VENTILADORES E APARELHOS DE AR CONDICIONADO LIGADOS	53
FIGURA 4.3 – FREQUÊNCIA DOS VALORES DE VELOCIDADE DO AR ENCONTRADOS NA SALA 02 COM O USO DOS VENTILADORES DE TETO.	54
FIGURA 4.4 – FREQUÊNCIA DOS VALORES DE VELOCIDADE DO AR ENCONTRADOS NA SALA 02 COM O USO DOS VENTILADORES DE TETO E AR CONDICIONADO.....	54
FIGURA 4.5 - MAPEAMENTO DA VELOCIDADE DO AR NA SALA 03 COM OS VENTILADORES LIGADOS E SEM USO DO AR CONDICIONADO.....	55
FIGURA 4.6 - MAPEAMENTO DA VELOCIDADE DO AR NA SALA 03 COM OS VENTILADORES LIGADOS E COM O USO DO AR CONDICIONADO.....	56
FIGURA 4.7 – FREQUÊNCIA DOS VALORES DE VELOCIDADE DO AR ENCONTRADOS NA SALA 03 COM OS VENTILADORES DE TETO LIGADOS.....	57
FIGURA 4.8 - FREQUÊNCIA DOS VALORES DE VELOCIDADE DO AR ENCONTRADOS NA SALA 03 COM OS VENTILADORES DE TETO E AR CONDICIONADO LIGADOS.....	57
FIGURA 4.9 – FREQUÊNCIA DAS MEDIÇÕES DE CONFORTO.....	59
FIGURA 4.10 – FREQUÊNCIA DE USUÁRIOS MASCULINOS E FEMININOS.....	60
FIGURA 4.11 - FREQUÊNCIA DA OCUPAÇÃO NAS CARTEIRAS DOS USUÁRIOS.....	61
FIGURA 4.12 – FREQUÊNCIA DOS VALORES DE TEMPERATURA	62
FIGURA 4.13 – VALORES DE TEMPERATURA DO AR.	63
FIGURA 4.14 – FREQUÊNCIA DOS VALORES DE UMIDADE RELATIVA.	63
FIGURA 4.15 – VALORES MÍNIMOS, MÉDIO E MÁXIMOS DE TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE	64
FIGURA 4.16 – SENSAÇÃO TÉRMICA DOS USUÁRIOS.....	65
FIGURA 4.17 - DIFERENÇAS ENTRE AS SENSAÇÕES TÉRMICAS RELATADAS ENTRE USUÁRIOS DO SEXO MASCULINO E FEMININO.	66
FIGURA 4.18 – ÍNDICE <i>CLO</i> DE USUÁRIOS DO SEXO FEMININO	66
FIGURA 4.19 – ÍNDICE <i>CLO</i> DE USUÁRIOS DO SEXO MASCULINO	67
FIGURA 4.20 – PREFERÊNCIA TÉRMICA DOS USUÁRIOS.....	67
FIGURA 4.21 – PREFERÊNCIA TÉRMICA DE ACORDO COM O SET	68
FIGURA 4.22 – ACEITABILIDADE TÉRMICA DOS USUÁRIOS	68
FIGURA 4.23 – ACEITABILIDADE TÉRMICA DE ACORDO COM O SET.	69
FIGURA 4.24 – RESPOSTAS RELATIVAS À CONFORTO TÉRMICO QUANDO RELACIONADAS AO SET (°C).	70
FIGURA 4.25 – SENSAÇÃO TÉRMICA DOS USUÁRIOS QUE SE CONSIDERARAM “DESCONFORTÁVEIS” TERMICAMENTE.	70

FIGURA 4.26 – FREQUÊNCIA DAS RESPOSTAS RELATIVAS À ACEITABILIDADE DA VELOCIDADE DO AR DOS USUÁRIOS QUE SE CLASSIFICARAM COMO DESCONFORTÁVEIS.....	71
FIGURA 4.27 – FREQUÊNCIA DAS RESPOSTAS RELATIVAS À ACEITABILIDADE DA VELOCIDADE DO AR DOS USUÁRIOS QUE SE CLASSIFICARAM COMO CONFORTÁVEIS.	72
FIGURA 4.28 – ACEITABILIDADE DA VELOCIDADE DO AR ASSOCIADA À VELOCIDADE DO AR (M/S).....	74
FIGURA 4.29 – ACEITABILIDADE DA VELOCIDADE DO AR DE ACORDO	75
FIGURA 4.30 – PREFERÊNCIA DOS USUÁRIOS COM RELAÇÃO À VELOCIDADE DO AR DE ACORDO COM AS FAIXAS DE VELOCIDADE DO AR ESTIPULADAS.....	76
FIGURA 4.31 – PREFERÊNCIA DOS USUÁRIOS COM RELAÇÃO À VELOCIDADE DO AR DE ACORDO COM OS VALORES DE SET (°C).	76
FIGURA 4.32 – PREFERÊNCIA PELA VELOCIDADE DO AR ASSOCIADA À SENSAÇÃO TÉRMICA DURANTE O EXPERIMENTO.....	77
FIGURA 4.33 – ACEITABILIDADE TÉRMICA DOS USUÁRIOS ASSOCIADA AOS VOTOS DE ACEITABILIDADE DA VELOCIDADE DO AR.....	78
FIGURA 4.34 – ACEITABILIDADE DA VELOCIDADE DO AR ASSOCIADA AO SET (°C) DE USUÁRIOS QUE CLASSIFICARAM O AMBIENTE COMO INACEITÁVEL TERMICAMENTE.....	79
FIGURA 4.35 – ACEITABILIDADE DA VELOCIDADE DO AR ASSOCIADA À DISPOSIÇÃO DOS USUÁRIOS DENTRO DA SALA DE AULA 02.	80
FIGURA 4.36 – PREFERÊNCIA PELA VELOCIDADE DO AR ASSOCIADA À DISPOSIÇÃO DOS USUÁRIOS DENTRO DA SALA DE AULA 02.	81
FIGURA 4.37 - ACEITABILIDADE DA VELOCIDADE DO AR ASSOCIADA À DISPOSIÇÃO DOS USUÁRIOS DENTRO DA SALA DE AULA 03.	82
FIGURA 4.38 - PREFERÊNCIA PELA VELOCIDADE DO AR ASSOCIADA À DISPOSIÇÃO DOS USUÁRIOS DENTRO DA SALA DE AULA 02.	83
FIGURA 4.39 –TEMPERATURAS SOB AS QUAIS OS APARELHOS DE AR CONDICIONADO FORAM ACIONADOS	86
FIGURA 4.40 – FREQUÊNCIA DE USUÁRIOS PREVIAMENTE EXPOSTOS OU NÃO A AMBIENTES COM O USO DO AR CONDICIONADO.....	87
FIGURA 4.41 – PREFERÊNCIA PELO USO DA CLIMATIZAÇÃO EM AMBIENTES DE USUÁRIOS PREVIAMENTE EXPOSTOS A AMBIENTE COM O USO DO AR CONDICIONADO E USUÁRIOS SEM EXPOSIÇÃO PRÉVIA.	88
FIGURA 4.42 – FREQUÊNCIA DOS USUÁRIOS HABITUADOS A AMBIENTES COM AR CONDICIONADO E O TEMPO MÉDIO DE PERMANÊNCIA.....	88
FIGURA 4.43 – USUÁRIOS HABITUADOS E NÃO HABITUADOS AO USO DE CONDICIONADORES DE AR E USUÁRIOS QUE PREFEREM AMBIENTES CLIMATIZADOS COM O USO DE AR CONDICIONADO.....	89
FIGURA 4.44 – SENSAÇÃO TÉRMICA DOS USUÁRIOS EXPOSTOS PREVIAMENTE AO USO DE AR CONDICIONADO.....	89

FIGURA 4.45 – SENSAÇÃO TÉRMICA DE USUÁRIOS SEM EXPOSIÇÃO PRÉVIA AO USO DE AR CONDICIONADO.....	90
FIGURA 4.46 – FREQUÊNCIA DE VOTOS EXTREMOS DE FRIO E CALOR RELATIVOS À SENSAÇÃO TÉRMICA DOS USUÁRIOS HABITUADOS E NÃO HABITUADOS AO USO DE AR CONDICIONADO.....	91
FIGURA 4.47 – PREFERÊNCIA TÉRMICA COM RELAÇÃO AO AMBIENTE DE USUÁRIOS COM EXPOSIÇÃO PRÉVIA AO USO DE AR CONDICIONADO.....	92
FIGURA 4.48 – PREFERÊNCIA TÉRMICA COM RELAÇÃO AO AMBIENTE DE USUÁRIOS SEM EXPOSIÇÃO PRÉVIA AO USO DE AR CONDICIONADO.	92
FIGURA 4.49 – ACEITABILIDADE TÉRMICA COM RELAÇÃO AO AMBIENTE ESTUDADO DE USUÁRIOS COM EXPOSIÇÃO PRÉVIA AO USO DO AR CONDICIONADO.....	93
FIGURA 4.50 – ACEITABILIDADE TÉRMICA COM RELAÇÃO AO AMBIENTE ESTUDADO DE USUÁRIOS SEM EXPOSIÇÃO PRÉVIA AO USO DO AR CONDICIONADO.....	93
FIGURA 4.51 – ACEITABILIDADE TÉRMICA A TEMPERATURAS MAIS BAIXAS DE USUÁRIOS COM EXPOSIÇÃO PRÉVIA AO USO DO AR CONDICIONADO.....	94
FIGURA 4.52 – ACEITABILIDADE TÉRMICA A TEMPERATURAS MAIS BAIXAS DE USUÁRIOS SEM EXPOSIÇÃO PRÉVIA AO USO DO AR CONDICIONADO.	94
FIGURA 4.53 – PREFERÊNCIA PELA VELOCIDADE DO AR DE USUÁRIOS COM EXPOSIÇÃO PRÉVIA AO USO DO AR CONDICIONADO E SEM EXPOSIÇÃO PRÉVIA	95
FIGURA 4.54 – OPINIÃO DOS USUÁRIOS COM RELAÇÃO AO USO DE VENTILADORES DE TETO.	95
FIGURA 4.55 – RESPOSTAS DOS USUÁRIOS RELATIVAS AOS PROBLEMAS CAUSADOS PELOS VENTILADORES DE TETO.	97

CAPÍTULO 7

FIGURA 7.1 – EQUIPAMENTOS E OS PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA A ANÁLISE COMPARATIVA, CALIBRAÇÃO E CONFERÊNCIA DOS SENSORES.	115
FIGURA 7.2 - EQUAÇÃO OBTIDA ATRAVÉS DOS DADOS DAS MEDIÇÕES REALIZADAS NO TÚNEL DE VENTO.....	117

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

TABELA 2.1 – ESCALA DO VOTO MÉDIO PREDITO (VME).....	7
TABELA 2.2 – ESCALA SENSORIAL DE SETE PONTOS.....	9
TABELA 2.3 – ESCALAS DE SENSAÇÕES TÉRMICAS.....	10
TABELA 2.4 – PLANILHA DE MAHONEY E OS LIMITES CONFORTÁVEIS DE TEMPERATURA.....	12
TABELA 2.5 – AJUSTES NA TEMPERATURA DE CONFORTO (°C) EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DO AR (M/S).....	17
TABELA 2.6 – NÚMERO DE USUÁRIOS QUE VOTARAM “NEUTRO” DURANTE O EXPERIMENTO DE ACORDO COM OS VALORES DE VELOCIDADE DO AR.....	18
TABELA 2.7 – RESULTADOS ENERGÉTICOS DO PROCEL EM 2007.....	24
TABELA 2.8 – EFICIÊNCIA MÉDIA DOS CONDICIONADORES DE AR TIPO “JANELA” POR FAIXA DE CAPACIDADE.....	28
TABELA 2.9 – EFICIÊNCIA MÉDIA DOS CONDICIONADORES DE AR TIPO “SPLIT” POR FAIXA DE CAPACIDADE.....	28
TABELA 2.10 – ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA A CIDADE DE FLORIANÓPOLIS/SC.....	33

CAPÍTULO 3

TABELA 3.1 – ESCALA DE SENSAÇÕES TÉRMICAS UTILIZADA.....	45
---	----

CAPÍTULO 4

TABELA 4.1 – QUANTIDADE DE DADOS REGISTRADOS.....	58
TABELA 4.2 – CARACTERIZAÇÃO DA POPULAÇÃO ESTUDADA.....	60
TABELA 4.3 – ACEITABILIDADE DA VELOCIDADE DO AR RELACIONADA À ACEITABILIDADE TÉRMICA.....	69
TABELA 4.4 - INTERVALOS DE VELOCIDADE UTILIZADOS.....	73
TABELA 4.5 – PREFERÊNCIA TÉRMICA ASSOCIADA À PREFERÊNCIA PELA VELOCIDADE DO AR.....	77
TABELA 4.6 - RESUMO DAS MEDIÇÕES DE CONFORTO RELACIONADAS COM O NÃO-ACIONAMENTO OU ACIONAMENTO DOS CONDICIONADORES DE AR.....	84

CAPÍTULO 7

TABELA 7.1 - DADOS DE VELOCIDADE DO AR NO TÚNEL DE VENTO, TENSÃO DO SENSOR DE VELOCIDADE DO AR DO CONFORTÍMETRO SENSU E AS DIFERENÇAS (VOLTS) ENTRE AS TENSÕES 1 E 2 ENCONTRADAS DURANTE A CALIBRAÇÃO.	116
--	-----

1 INTRODUÇÃO

A eficiência no uso da energia elétrica se tornou um assunto recorrente após a alta no preço do petróleo nos anos 70, quando ficou claro que o uso de reservas de recursos fósseis teriam custos crescentes, seja do ponto de vista econômico ou do ponto de vista ambiental (GELLER, 1994). Logo, estudos mostraram que um mesmo serviço pode ser obtido com menor gasto de energia e, conseqüentemente, com menores impactos econômicos, ambientais, sociais e culturais. Os equipamentos elétricos e hábitos de consumo passaram a ser analisados em termos de conservação de energia, o que demonstrou que muitas iniciativas que resultam em maior eficiência energética são economicamente viáveis; ou seja, o custo de implantação é menor que o custo necessário para produzir ou adquirir a energia cujo consumo é evitado.

Esta discussão vem sendo ampliada, incluindo a problemática do aquecimento global e das emissões de carbono (IPCC, 2007), ao alerta de cientistas com relação ao aumento na temperatura média global da troposfera¹, estimado entre 3°C e 6°C (MENDONÇA, 2003), o que constitui um problema de ordem mundial. Neste cenário, um dos principais desafios é a crescente demanda pela gestão de energia em edifícios e eficiência dos mesmos (CALVINO *et al.*, 2010). O setor de edificações é responsável por 40% do consumo mundial de energia elétrica, representando 30% do consumo total nos Estados Unidos (STEIN, 1979), 40% em países da União Europeia (DIREÇÃO GERAL DE ENERGIA, 2002), e 45% no Brasil (PROCEL, 2007).

Nos setores residencial e comercial, grande parte dessa energia é direcionada para a obtenção de conforto térmico dos ocupantes através do uso de sistemas de climatização artificial. Dentre os setores comentados, o comercial é o que apresenta maior potencial para a conservação de energia, pois cerca de 70% da energia consumida se deve à utilização dos sistemas de ar condicionado e iluminação, fatores diretamente ligados à arquitetura (CORCUERA, 1999; IPCC, 2007).

É neste cenário que as discussões acerca das possibilidades de redução no consumo energético através da utilização da ventilação natural como estratégia passiva para a climatização de ambientes têm se tornado cada vez mais recorrentes. De acordo com Schiavon e Melikov (2008), em alguns casos, o simples incremento na velocidade do ar em

¹ Entende-se por troposfera, a porção mais baixa da atmosfera terrestre.

edifícios é suficiente para obter redução no consumo de energia elétrica. Esta redução se deve em parte à circulação do ar, que, em contato com a superfície da pele torna possível a sensação de neutralidade térmica a temperaturas mais elevadas do que as usuais (ARENS *et al.*, 1998). Além da neutralidade térmica, diversos outros benefícios foram verificados nas estimativas de conforto com a introdução da ventilação natural e, conseqüentemente, do modelo adaptativo. De acordo com Brager *et al.* (2004), ao proporcionar o controle das variáveis ambientais aos ocupantes, permitindo a abertura de janelas ou o acionamento dos ventiladores, eleva-se a expectativa dos usuários com relação ao clima interno, resultando em aumento na produtividade, bem-estar e conforto térmico dos mesmos.

No entanto, introduzir a ventilação natural como estratégia passiva para a climatização de ambientes tem sido um dos maiores desafios encontrados por pesquisadores e projetistas. Esta dificuldade se deve em parte à falta de conhecimento a respeito do fenômeno físico do escoamento natural do ar e sobre como velocidades mais altas afetam a sensação de conforto de usuários em climas quentes (CHOW *et al.*, 2010). Muito embora estudos como os de Rohles *et al.* (1974) recomendarem uma extensão na zona de conforto durante o verão para ambientes ventilados naturalmente e, posteriormente, Spain (1984) e Arens *et al.* (1998) verificarem que os usuários consideram a circulação de ar agradável quando a velocidade é superior a 1,00 m/s, os limites máximos de velocidade do ar encontrados em normas como a ASHRAE 55 – 2004 e ISO 7730/05 ainda são considerados baixos para regiões de climas quentes e úmidos.

Diante deste panorama, mostra-se claro que a ventilação natural pode ser utilizada como estratégia passiva para obtenção de conforto térmico em ambientes internos promovendo a diminuição no uso de condicionadores de ar. De acordo com Chow *et al.* (2010), o aumento na velocidade do ar pode promover, de maneira mais sustentável, os mesmos níveis de conforto que a redução na temperatura e na umidade relativa do ar. Pesquisas como a de Ja'afar e Croxford (2010) atentam não só para a demanda no consumo energético causada pelos condicionadores de ar, como também para as implicações na questão comportamental que o mesmo provoca. Na Malásia, observou-se que 90% da utilização de ar condicionado nas residências, mais especificamente, nos quartos destas residências, ocorrem durante as horas de sono e somados ao o uso de edredons (JA'AFAR E CROXFORD, 2010). Simonella e Pau (2010) frisam que no futuro, com o aquecimento global e as temperaturas mais altas, a percepção de

conforto térmico possa ser diferente. Os requisitos para obtenção de conforto em ambientes internos deverão se tornar mais flexíveis, ou seja, os ocupantes deverão aprender a se adaptar às tendências do ambiente externo sem a utilização indiscriminada dos condicionadores de ar.

Estes indícios aqui relatados, a respeito da demanda energética e ineficiência na utilização de aparelhos condicionadores de ar, tornam-se preocupantes ao deparar-se com estudos que indicam modificações na capacidade de adaptação às flutuações de temperatura por parte de usuários com exposição prévia e prolongada a ambientes com a utilização de ar condicionado (CÂNDIDO *et al.*, 2010). Não obstante, os resultados deste trabalho sugerem que além da dificuldade de adaptação aos ambientes com flutuações de temperaturas durante o dia, estes mesmos usuários detêm certa intolerância às temperaturas mais altas quando comparados a usuários sem a exposição prévia ao ar condicionado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é investigar as condições de conforto térmico e aceitabilidade do movimento do ar em salas de aula com ventiladores de teto para o clima de Florianópolis/SC.

1.1.2 Objetivos específicos

Para a realização deste trabalho encontra-se a necessidade de determinados objetivos específicos:

- Investigar o impacto da exposição prévia a ambientes condicionados na aceitabilidade, preferência térmica e do movimento do ar;
- Identificar os valores de temperatura do ar sob os quais os usuários acionem os dispositivos de climatização artificial (ar condicionado);
- Contribuir para a formação de um banco de dados nacional focado nos aspectos relativos ao conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo introdutório descreve uma visão geral da importância de se obter conforto térmico em ambientes internos, aliado às questões energéticas e de sustentabilidade atuais; em seguida, são apresentados os objetivos propostos pela pesquisa e estrutura do trabalho. No segundo capítulo, é feita uma revisão de literatura apresentando-se alguns estudos inerentes à ventilação, conforto térmico, aceitabilidade da velocidade do ar e eficiência energética dentro do contexto brasileiro. Neste capítulo também é apresentada a normatização existente em conforto térmico.

O terceiro capítulo descreve o procedimento metodológico adotado, material e protocolo de medição a ser utilizado durante os experimentos. Neste capítulo encontram-se também os procedimentos estatísticos adotados para o tratamento dos dados e a forma como os mesmos serão utilizados para as análises finais. No capítulo 4 são apresentados os resultados da pesquisa e discussão dos mesmos, divididos em 3 partes: sensação, aceitabilidade e preferência térmica; aceitabilidade e preferência da velocidade do ar; e por último, exposição prévia e preferência de condicionamento ambiental.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões finais obtidas neste trabalho e as sugestões de temas a serem desenvolvidos no futuro.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O CONCEITO DE CONFORTO TÉRMICO

Ao se tratar da satisfação do homem com o meio térmico que o rodeia, a associação com o conceito de conforto térmico ocorre quase que instantaneamente. Como disse Xavier (1999), a definição de P. O. Fanger em 1970 se tornou clássica ao determinar conforto térmico como “uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”, sendo atualmente utilizada em normas e manuais de conforto como a ANSI/ASHRAE 55 (1992) e ISO 7730 (1994).

A estrutura humana, por meio de um processo evolutivo, desenvolveu mecanismos que permitem sua adaptação ao meio com um objetivo principal: alcançar o bem-estar. E conforto térmico, para a maioria das pessoas, nada mais é do que a íntegra sensação de bem-estar. Sensação esta que é essencialmente subjetiva, dependendo da percepção, expectativa e preferência de cada indivíduo, fazendo com que um ambiente possa ser mais confortável enquanto quente para um, ou frio para outro.

Para melhor entender os padrões de conforto térmico humano, é necessário se reportar às variáveis que se relacionam a esta condição. Dentre estas variáveis estão as humanas (subjetivas) e as climáticas (ambientais). Estas últimas são diretamente relacionadas aos elementos climáticos, e são coletadas no ambiente onde se realizam os experimentos (temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do ar, temperatura de globo), ou em alguns casos, calculadas por meio dos dados coletados (temperatura média radiante, temperatura operativa e o SET – *Standard Effective Temperature*). As variáveis humanas estão relacionadas às atividades desenvolvidas (taxa metabólica), à vestimenta (isolamento térmico da pele) e à complexidade física dos entrevistados durante o experimento (KOENIGSBERGER *et al.*, 1979).

De uma maneira geral, diz-se que uma pessoa se encontra em estado de conforto térmico quando são atingidas as seguintes premissas (FROTA e SCHIFFER, 2001):

- A pessoa se encontre em neutralidade térmica, e para isto, todo o calor gerado pelo seu corpo deve ser dissipado nesta mesma proporção ao ambiente, através de trocas térmicas (condução, radiação e evaporação);
- A temperatura da pele e a taxa de secreção de suor devem estar dentro de limites compatíveis com a atividade desenvolvida;

- A pessoa deve estar livre de qualquer desconforto térmico localizado, advindos das correntes de ar, diferenças nas temperaturas do ar no sentido vertical, ou pisos aquecidos ou resfriados.

2.1.1 Modelo estático e modelo adaptativo

Ao estudar os aspectos relativos ao conforto térmico, são encontradas duas abordagens diferentes e com prescrições bem distintas de como as condições microclimáticas das edificações podem ser administradas. A primeira, mais conhecida como modelo estático, representa uma linha analítica (ou racional) da avaliação das sensações térmicas humanas e que considera o homem como um simples receptor passivo do ambiente térmico. Já a segunda abordagem, conhecida como modelo adaptativo, considera o homem como um agente ativo, que interage com o ambiente em resposta às suas sensações e preferências térmicas (NICOL e HUMPHREYS, 2002).

Fanger (1970), que realizou diversos experimentos na Dinamarca sobre conforto térmico, é o principal representante da linha analítica da avaliação das sensações térmicas humanas. Suas equações e métodos têm sido utilizados mundialmente, e serviram de base para a elaboração de normas internacionais importantes, como a ANSI/ASHRAE 55 (1992) e a ISO 7730 (1984), sendo esta última atualizada em 1994 e posteriormente 2005.

A partir de estudos consequentes à Equação de Conforto Térmico, desenvolvida por Fanger, criou-se um método de avaliação do grau de desconforto, chamado *Predicted Mean Vote* – PMV ou o voto médio estimado – VME, que também é conhecido como sensação analítica de conforto, e se baseia no balanço de calor do corpo com o ambiente. O PMV representa as sensações térmicas médias das pessoas sob determinadas condições ambientais e individuais, através de uma escala quantitativa da sensação de calor e de frio (GOMES, 2002). A escala do PMV é semelhante à escala das sensações térmicas (Tabela 2.1) e será utilizada durante a análise dos dados deste trabalho.

As relações entre o PMV – *Predicted Mean Vote* e o PPD – *Predicted Percentage of Dissatisfied* (porcentagem de pessoas insatisfeitas - PPI) também foram elaboradas por Fanger. Segundo Roriz (1996), o método de Fanger é resultado de cinco anos de estudos no Laboratório de Calefação e Ar Condicionado da Universidade Técnica da Dinamarca, e no Instituto de Pesquisas Ambientais da Universidade de Kansas, nos Estados Unidos.

Tabela 2.1 – Escala do voto médio predito (VME). Adaptado de: FANGER (1970).

-3	Muito frio
-2	Frio
-1	Leve sensação de frio
0	Neutralidade térmica
1	Leve sensação de calor
2	Calor
3	Muito calor

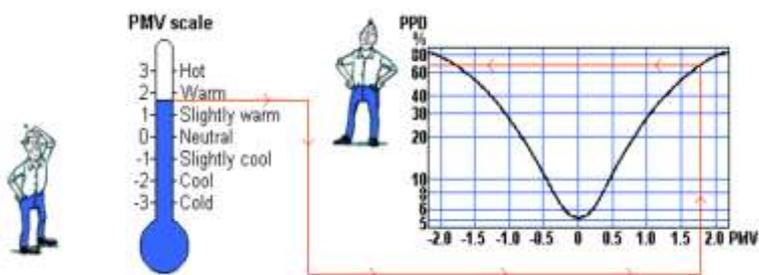


Figura 2.1 – Escala de valores de PMV e PPD. Fonte: THERMAL BOOKLET, (2002). Disponível em: www.labeee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/Thermal_Booklet.

No entanto, o uso do voto médio estimado (PMV) como um modelo universal, é discutível. De acordo com Fanger e Toftum (2001) a conclusão de que “o PMV superestima a sensação térmica das pessoas acostumadas aos climas quentes em edificações sem condicionamento artificial”, tem a influência do fator *expectativa*, que permite ao usuário ter maior ou menor tolerância ao ambiente térmico.

Assim, entende-se que o modelo estático analisa os limites confortáveis de temperatura como sendo limites universais, e os efeitos de um determinado ambiente térmico acontecem exclusivamente pelas trocas físicas de calor com a superfície do corpo, enquanto que a manutenção da temperatura interna de um indivíduo necessita de certa resposta fisiológica. Já o modelo adaptativo se refere às temperaturas internas ou às taxas de temperaturas internas aceitáveis para os parâmetros climatológicos ou meteorológicos externos (ANSI/ASHRAE 55, 2004).

Pode-se afirmar que a escola adaptativa considera fatores além dos físicos e psicológicos que interagem na percepção térmica. Estes estudos têm como base os conceitos de aclimação, e os fatores considerados podem incluir características inerentes à demografia (gênero, idade,

classe social), contexto (composição da edificação, estação, clima) e cognição (atitudes, preferências e expectativas).

São três os mecanismos de adaptação, e que de acordo com De Dear *et al.* (1997), são utilizados pelo corpo humano para se defender dos efeitos do clima:

- Ajustes comportamentais: são as modificações conscientes ou inconscientes das pessoas; podem modificar o fluxo de calor e massas que governam as trocas térmicas do corpo. Estes ajustes podem ainda ser divididos em subcategorias, conhecidos como os ajustes pessoais (roupa, atividade, postura), ajustes tecnológicos ou ambientais (abrir/fechar janelas, ligar ventiladores, usar óculos escuros) e os ajustes culturais.
- Ajustes Fisiológicos: são aqueles que incluem todas as mudanças nas respostas fisiológicas das pessoas, que são resultado da exposição a fatores ambientais e térmicos, conduzindo a uma diminuição gradual na tensão criada por tal exposição. As mudanças fisiológicas podem ser divididas em: adaptação genética, que são aquelas que se tornaram parte da herança genética de um indivíduo ou grupo de pessoas; e a aclimação, que são as mudanças inerentes ao sistema termo-regulador.
- Ajustes Psicológicos: percepções e reações das informações sensoriais. A percepção térmica é diretamente atenuada por sensações e expectativas ao clima interno. Esta forma de adaptação pode ser comparada à noção de hábito, exposição repetida ou crônica, que conduz a uma diminuição da intensidade da sensação evocada anteriormente.

Alguns autores defendem a abordagem adaptativa como uma ferramenta ideal para a avaliação precisa do conforto humano em relação à temperatura ambiente (NICOL, 2004; VAN DER LINDEN *et al.*, 2006). A partir desta abordagem, os edifícios podem oferecer diferentes tipos de combinações térmicas aceitáveis, e que não precisam necessariamente ser constantes; os ocupantes se “adaptam” à temperatura interna destes ambientes através de pequenas modificações no ambiente (ajustes tecnológicos), ou simplesmente se acostumam com os mesmos (ajustes psicológicos). Seguindo o princípio de Nicol e Humphreys (2002), se ocorre uma mudança climática que resulte em desconforto, as pessoas reagem de maneira a reestabelecer seu conforto.

2.1.2 Percepção e sensação térmica

A percepção térmica representa um processo mental que possibilita a inter-relação do homem com o seu entorno, ocorrendo quando o organismo recebe e processa as informações do meio. Estas informações são estímulos internos e externos responsáveis pelo comportamento do organismo (SIMÕES e TIEDEMANN, 1985). É por meio da sua percepção que o homem capta as características do ambiente e quando se encontra em desconforto térmico, tende a desviar a atenção e concentração das atividades que está realizando. A percepção térmica abrange três dimensões: sensação, aceitabilidade e preferência térmica (DE DEAR *et al.*, 1997).

Já a sensação térmica, é uma indicação da percepção térmica, ou seja, é o grau de conforto ou desconforto térmico de uma pessoa quando submetida a certo ambiente (YOUNG, 1987). Pode-se dizer que a sensação térmica é um efeito combinado das variações climáticas com as variações individuais. Dentre as variáveis ambientais que influenciam a percepção térmica estão: a temperatura do ar, a umidade relativa, e a velocidade do ar.

Em 1970, Fanger propôs uma escala sensorial que traduzisse as sensações térmicas relatadas por usuários com relação ao ambiente em que estavam expostos. A escala apresentada na Tabela 2.2 foi criada para representar as respostas dos usuários relativas à clássica pergunta: “Como você classifica este ambiente térmico neste momento?”, e é utilizada em normas como a ISO 10551/1995 e ASHRAE (1997). Na Tabela 2.3, observa-se a relação entre a escala da ASHRAE, a escala de Bedford utilizada em 1936 e a escala de preferências de Fanger. Além destas escalas, podem-se citar ainda as escalas de Osgood (1957), Rohles e Nevins (1971) e McIntyre (1980) (Figura 2.2).

Tabela 2.2 – Escala sensorial de sete pontos. Adaptado de: FANGER, (1970).

Sensação térmica	Pontos
Muito quente	+3
Quente	+2
Leve sensação de calor	+1
Confortável	0
Leve sensação de frio	-1
Frio	-2
Muito frio	-3

Tabela 2.3 – Escalas de sensações térmicas. Adaptado de: DE DEAR e AULICIEMS, (1985).

Escala	ASHRAE	Bedford	Preferência
3	Muito quente	Muitíssimo quente	Muito mais frio
2	Quente	Muito quente	Mais frio
1	Lev. quente	Confortavelmente quente	Lev. mais frio
0	Neutro	Confortável	Nenhuma mudança
-1	Lev. frio	frio	Lev. mais quente
-2	Frio	Muito frio	Mais quente
-3	Muito frio	Muitíssimo frio	Muito mais quente

Bedford (1936)

Muitíssimo quente
Muito Quente
Confortavelmente quente
Confortável
Confortavelmente frio
Muito Frio
Muitíssimo frio

1
2
3
4
5
6
7

Rohles e Nevins (1971)

Muito gelado -4
Gelado -3
Frio -2
Levemente frio -1
Neutro 0
Levemente morno 1
Muito morno 2
Quente 3
Muito quente 4
Doloroso 5

McIntyre (1980)

Mais aquecido 1
Não mudar 0
Mais resfriado -1

Osgood, 1957

Confortável
Muito calor Muito Frio

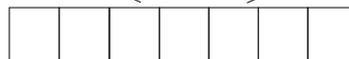


Figura 2.2 – Escalas térmicas de Bedford (1936), Osgood (1957), Rohles e Nevins (1971) e McIntyre (1980). Fonte: ASHRAE, (1997).

Muitos são os fatores que interferem nas determinações das sensações térmicas e, de acordo com De Dear e Brager (2002), descobrir qual deles ocasiona maior influência na sensação de conforto térmico individual é o ponto que mais gera perguntas relacionadas ao tema. Com a finalidade de precisar estes fatores intervenientes e determinar a real influência de cada um deles no desempenho, sensação e preferência térmica, pesquisas em todo o mundo estão sendo desenvolvidas, dentre elas estão as de Fanger (1970; 2001), De Dear *et al.* (1997), Humphreys e Nicol (1998), Zhang *et al.*, (2001).

2.1.3 Limites de conforto

A adoção de índices de conforto sem o devido ajuste para climas tropicais úmidos, por exemplo, pode subestimar o limite máximo da temperatura de conforto térmico e, conseqüentemente, estimular o uso desnecessário de aparelhos de ar condicionado (NICOL, 2004). Uma das premissas para se obter conforto térmico é o alcance dos valores das variáveis climáticas dentro dos limites aceitáveis de conforto para cada região. Segundo Rivero (1985), no Brasil, tais limites de conforto requerem aproximadamente as seguintes especificações:

- A temperatura média radiante e do ar devem ser iguais;
- A umidade relativa do ar deve estar compreendida entre 30% e 60%;
- conforto ótimo é alcançado quando a temperatura do ar está geralmente entre 23°C e 25°C;
- meio se encaixará em “levemente quente” quando a temperatura do ar estiver entre 25°C e 28°C, quando ocorrerão as primeiras manifestações de desconforto por calor;
- Entre 28°C e 31°C o ambiente será considerado quente, e este último valor assinala o desconforto;
- Entre 31°C e 35°C a classificação será “muito quente”, limite no qual o meio é considerado muito desconfortável.

Analisando as planilhas de Mahoney, define-se que os intervalos considerados confortáveis dependem das médias mensais da umidade relativa (UR) e da média anual da temperatura do ar exterior (TMA) (

Tabela 2.4). A planilha compara as médias das temperaturas máximas e as médias das mínimas com as zonas de conforto pré-

estabelecidas, classificando o rigor climático de cada região (RORIZ, 2003).

Tabela 2.4 – Planilha de Mahoney e os limites confortáveis de temperatura. Fonte: RORIZ, (2003).

Média Mensal de Umidade Relativa	TMA < 15		15 ≤ TMA ≤ 20		TMA > 20	
	noite	dia	noite	dia	noite	dia
UR < 30%	12 a 21	21 a 30	14 a 23	23 a 32	17 a 25	26 a 34
30% ≤ UR < 50%	12 a 20	20 a 27	14 a 22	22 a 30	17 a 24	25 a 31
50% ≤ UR < 70%	12 a 19	19 a 26	14 a 21	21 a 28	17 a 23	23 a 29
UR ≥ 70%	12 a 18	18 a 24	14 a 20	20 a 25	17 a 21	22 a 27

As condições aqui comentadas variam de acordo com a região, umidade relativa e velocidade do ar. Rivero (1985) adota em suas especificações um valor de velocidade do ar máximo de 0,20m/s, o qual já é considerado baixo para climas quentes e úmidos nas pesquisas como as de Cândido *et al.* (2010). No entanto, em climas com temperaturas mais baixas, como no sul do país, o desconforto é maior à medida que a velocidade do ar aumenta. Sendo assim, tais limites de conforto não podem ser generalizados e classificados como premissas para todas as zonas climáticas do Brasil.

2.2 CONFORTO TÉRMICO E OS LIMITES PARA A VELOCIDADE DO AR

Dá-se o nome de ventilação o processo de renovação do ar de um recinto, onde o objetivo fundamental é o de controlar a pureza e o deslocamento do ar em ambientes fechados, embora dentro de certos limites, a substituição do ar também controle a temperatura e a umidade do ambiente (COSTA, 2005). A ventilação age na melhoria do conforto térmico desde a ventilação direta nos ocupantes (chamada também de ventilação de conforto) até a ventilação que atua na massa interna do edifício, que ocorrendo em horas propícias, também pode ser chamada de ventilação noturna. Ambos os sistemas são considerados sistemas de resfriamento passivos, baseados no potencial da capacidade de transferência térmica do ar em movimento (MERMET, 2005).

A velocidade do ar é uma variável ambiental de grande influência na obtenção do conforto térmico por favorecer as trocas de calor entre a pele e o meio, através da convecção e evaporação. Assim, diz-se que a sensação térmica é influenciada diretamente pela intensidade da ventilação, especialmente em climas úmidos, onde a ventilação representa

um fator necessário que diminui o desconforto causado pelo calor através do processo de evaporação do suor. A contribuição da ventilação na remoção de calor varia de acordo com a temperatura do ar e também com a umidade relativa.

A referência mais tradicional para os limites da velocidade do ar advém do conceito de desconforto por correntes de ar (*i.e. draught ou draft*). Tal conceito pode ser definido como um resfriamento indesejado no corpo, causado pela movimentação do ar (ASHRAE, 2001) e sendo considerado um problema comum em ambientes com baixa atividade metabólica. Para avaliar o risco de desconforto causado pelas correntes de ar, o modelo mais comum utilizado é o de Fanger *et al.* (1988), que foi desenvolvido com base em experimentos laboratoriais. O modelo combina três parâmetros físicos: temperatura do ar, velocidade média do ar e intensidade de turbulência do ar (), e é utilizado para prever a porcentagem de indivíduos insatisfeitos com o movimento do ar.

(Equação 1)

$$DR = (34 - t_a) \cdot (v_m - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot v_m \cdot t_u + 3,14)(\%)$$

Onde:

DR: Percentual de pessoas desconfortáveis pela movimentação do ar;

v_m : Velocidade média do ar (m/s);

t_a : Temperatura do ar (°C);

t_u : Intensidade de turbulência do ar (%).

Tais valores aceitáveis de velocidade do ar têm sido constantemente objeto de estudo de vários pesquisadores. Os valores considerados como aceitáveis para um ambiente de atividades sedentárias podem variar entre 0,5 e 2,5 m/s, de acordo com diferentes autores (GHIAUS e ALLARD, 2006; NICOL, 2004). O limite máximo é baseado em problemas práticos, tais como voo de papéis sobre a mesa e desarranjo de penteados, ao invés de exigências fisiológicas de conforto. Segundo Bittencourt e Cândido (2005), a variabilidade e duração por curtos períodos de tempo das condições desconfortáveis, parece não constituir em um sério distúrbio para a maioria das pessoas, já que seres humanos têm um sistema fisiológico flexível que preserva por certo período de tempo uma resposta constante a despeito da mudança de ambiente. Assim, a equação de Fanger, que serviu como base para a obtenção dos limites de velocidade do ar encontrados nas normas ANSI/ASHRAE 55 (2004) e ISO 7730/2005, teve sua aplicabilidade questionada por experimentos desenvolvidos em ambientes reais, onde os usuários

dispunham de oportunidades adaptativas e mecanismos de controle para a velocidade do ar (ARENS *et al.*, 1998; YANG e ZHANG, 2008 apud CÂNDIDO *et al.*, 2009).

Oseland (1994) notou que a maioria das pesquisas realizadas a respeito da velocidade do ar estava focada nos efeitos negativos causados pelo desconforto proveniente da movimentação indesejado do ar. No entanto, inúmeros estudos sugerem que a movimentação do ar é desejada quando a temperatura é considerada alta. A exemplo desta afirmação, podem-se citar estudos como os de Arens *et al.* (1998), que afirmam que velocidades próximas de 1,00 m/s podem ser empregadas para compensação de temperaturas até 29°C, sem que a circulação de ar se torne desagradável. Tanabe e Kimura (1994) também frisam que velocidades até 1,60 m/s são aceitáveis em ambientes com temperaturas do ar próximas de 31°C.

Outros estudos semelhantes como os de Xu *et al.* (1996), confirmam que correntes de ar turbulentas podem aumentar os efeitos positivos da movimentação do ar. No entanto, é importante lembrar que além destes estudos focarem na sensação térmica como um todo, e não no desconforto térmico local, esta sensação pode ser percebida de maneira diferente entre os usuários. Se o ambiente é quente demais para os ocupantes, o movimento do ar é percebido como uma brisa agradável; se o ambiente é frio demais, o movimento do ar é percebido como uma desagradável corrente de ar (OSELAND e HUMPHREYS, 1994).

Toftum (2004) afirma que a sensação térmica como um todo, afeta o desconforto térmico local. O modelo se aplica em pessoas termicamente neutras, e muitas vezes também se aplica em pessoas que se sentem “levemente com frio” ou “levemente com calor”, mudando sua sensibilidade para um maior ou menor grau, respectivamente. De acordo com a Figura 2.3, as pessoas que relataram sentir frio, ou ligeiramente frio, queixaram-se significativamente mais do que aquelas que se disseram neutras ou com calor (TOFTUM, 1994).

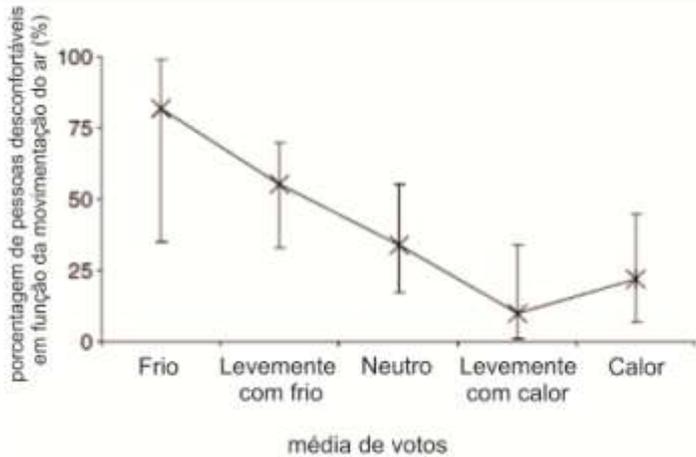


Figura 2.3 – Porcentagem de pessoas que sentem desconforto causado pela corrente de ar em função da sensação térmica relatada. Adaptado de: TOFTUM (1994).

Pesquisas importantes têm sido realizadas no mundo todo, com destaque para os Estados Unidos, Europa e Japão, com o objetivo de investigar os limites da movimentação do ar no conforto térmico em ambientes com atividades sedentárias, como as que ocorrem em salas de aula. Resultados têm sido apresentados combinando-se temperaturas relativamente altas à condições de intensidade e turbulência do ar semelhantes àquelas encontradas em ambientes ventilados naturalmente, onde se conclui que a obtenção de conforto térmico é possível mesmo a temperaturas superiores a 26°C, o que até pouco tempo representava um limite para a temperatura interna aceitável (ROHLES *et al.*, 1983; TANABE e KIMURA, 1987; SCHEATZLE *et al.*, 1989; HEISELBERG *et al.*, 2002).

As flutuações que ocorrem na temperatura efetiva durante o dia em construções ventiladas naturalmente, podem produzir sensações de conforto com temperaturas do ar significativamente mais altas do que aquelas preferidas sob condições constantes em ambientes com ar condicionado. Para baixas velocidades do ar, o conforto térmico é tão sensível à temperatura radiante quanto à temperatura do ar. Porém, para velocidades mais altas, a velocidade do ar determina a percepção do conforto (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

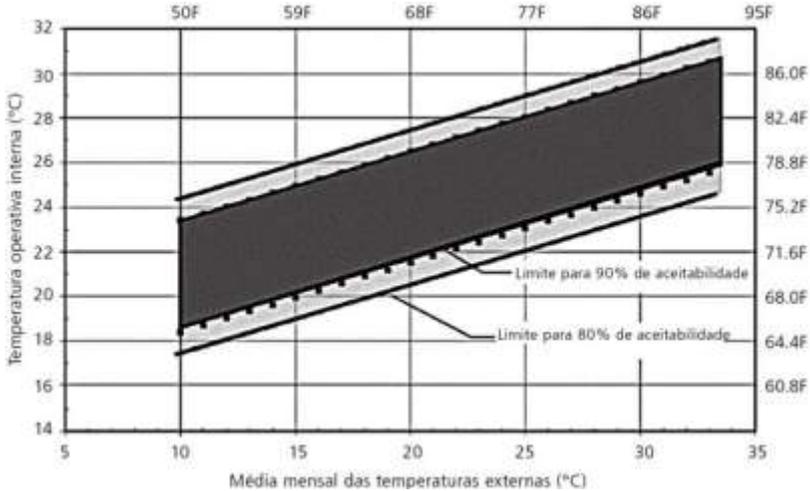


Figura 2.4 - Índice de conforto proposto pela ANSI/ASHRAE 55/2004: variação de temperatura operacional aceitável em ambientes ventilados naturalmente. – Adaptado de: ANSI/ASHRAE 55/2004.

Para Nicol (2004), o efeito causado pela ventilação permite a tolerância de temperaturas do ar até 4°C mais elevadas, quando comparados à temperatura interna de um ambiente. Se houver ainda a utilização de ventiladores, essa sensação pode ser modificada em até 2°C com velocidades do ar de 0,25 m/s e temperaturas a 25°C. De acordo com o *Building Research Establishment* – BRE (BRE, 1979) o efeito combinado da ventilação, vestimenta e atividade física foi estudado através de simulações em câmaras climáticas para diferentes tipos de roupas e metabolismos (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005). O resultado observado através da Tabela 2.5 sugere que para indivíduos que estão realizando atividades com valores altos de metabolismo, e velocidade do ar na faixa de 1,00 m/s, os ajustes na temperatura de conforto podem ser de até 5°C quando comparados aos indivíduos com atividades metabólicas menores. É interessante ressaltar que mudanças na vestimenta também aumentam a tolerância de temperatura dos indivíduos quando combinadas às correntes de ar.

Tabela 2.5 – Ajustes na temperatura de conforto (°C) em função da velocidade do ar (m/s). Fonte: BRE, (1979).

VESTIMENTA	Nível de atividade			
	Dormindo	Sentado	Em pé	Ativo
Nu	31°C	29°C	25°C	23°C
Roupa leve	29°C	26°C	21°C	18°C
Paletó e gravata	27°C	23°C	17°C	13°C
Velocidade do ar (m/s)	Ajuste aos valores acima devido à velocidade do ar			
0,20	0,5°C	1,0°C	1,0°C	1,4°C
0,40	1,0°C	1,5°C	2,0°C	3,0°C
0,70	1,5°C	2,0°C	3,0°C	4,0°C
1,00	2,0°C	2,5°C	3,5°C	5,0°C

Em outra pesquisa realizada pela ASHRAE em 1974, comparando-se um ambiente com o ar estagnado e outro onde a velocidade do ar apresentava um valor de 0,8 m/s, observou-se uma elevação de cerca de 2,5°C na temperatura preferida de indivíduos escandinavos, sob condições de 50% de umidade relativa. O efeito refrescante relatado tem sido ainda maior em outros experimentos.

Fleury (1990) e Cook (1989) indicaram que o movimento do ar pode produzir sensação de conforto sob temperaturas acima de 30°C e velocidade de ar aceitáveis. No entanto, entre 33°C e 37°C, a velocidade do ar não tem efeito significativo na sensação térmica e, neste caso, a proximidade entre a temperatura da pele e a temperatura do ar reduz consideravelmente o potencial das trocas térmicas por convecção entre o corpo e as correntes de ar, podendo no momento em que ultrapassar a temperatura da pele, gerar desconforto.

As vantagens da movimentação do ar parecem ser independentes da direção da velocidade do ar em relação ao corpo, mas a turbulência no movimento do ar tem sido reconhecida como uma importante variável. Para fluxos turbulentos de ar, a média da temperatura preferida aumenta em 0,7°C, quando comparada ao fluxo laminar, sugerindo uma maior troca de calor entre o corpo e o fluxo de ar. (TANABE e KIMURA, 1994).

O movimento turbulento do ar produzido por ventiladores de teto é bastante eficaz para elevar a temperatura de conforto. De acordo com Nicol (2004), a utilização de ventiladores pode proporcionar uma sensação térmica de até 2°C a menos que a temperatura real, enquanto Clark (1989) constatou que a sensação de uma pessoa exposta a uma velocidade do ar de 1,00 m/s, e uma temperatura de 29°C, foi equivalente a 24°C com a ventilação produzida por um ventilador de teto. Khedari *et al.* (2000) em seus estudos realizados na Tailândia com o auxílio de ventiladores posicionados em uma linha atrás dos usuários e a uma distância de 1,20m (Figura 2.5), constatou boa aceitação com relação à velocidade do ar, que variou de 0,2 m/s a 3,0 m/s (Tabela 2.6). Na ocasião, a temperatura variou de 27,5°C a 35°C, e a umidade relativa de 50 – 78%.

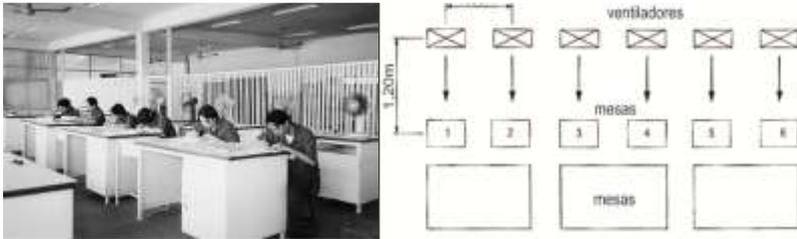


Figura 2.5 – Posição dos usuários e disposição das mesas durante o experimento de Khedari *et al.* (2000). Fonte: Khedari *et al.*, (2000).

Tabela 2.6 – Número de usuários que votaram “neutro” durante o experimento de acordo com os valores de velocidade do ar. Adaptado de: Khedari *et al.*, (2000).

Velocidade do ar (m/s)	Número de entrevistados	Número de entrevistados que votaram "neutro"
0,2	30	26
0,5	36	27
1,0	72	53
1,5	90	71
2,0	30	23
3,0	30	26
Total	288	226
	100%	78.5%

De acordo com Chow *et al.* (2010), para obterem-se ambientes climatizados de maneira sustentável, é necessário incrementar o valor da velocidade do ar ao invés de reduzir a temperatura e umidade relativa do ar, alcançando assim, equivalentes níveis de conforto. O incremento da velocidade do ar pode ser uma solução bastante eficiente, desde que antes sejam analisadas todas as condicionantes de influência, de maneira que seus efeitos sejam exponenciados. Dentre estas condicionantes estão: o clima, as necessidades, a finalidade dos edifícios, entre outras.

Em certas regiões onde o clima é tropical, com elevadas taxas de umidade relativa e ventos não permanentes, a ventilação se torna intrinsecamente necessária devido à intensificação das cargas térmicas. Nestes casos, quando não se pode contar somente com a ação de ventos como recurso único para uma ventilação de conforto contínua e eficiente, o uso de estratégias mecânicas para o incremento da ventilação natural é extremamente bem-vindo (DE DEAR *et al.*, 1991; MALLICK, 1996).

Como estratégia para o resfriamento de ambientes através de meios artificiais, são utilizados atualmente os aparelhos condicionadores de ar e os ventiladores de teto. Diversos estudos (SCHIAVON e MELIKOV, 2008; KHEDARI *et al.*, 2000) têm sido realizados com o objetivo de avaliar não só a facilidade de uso, mas também o potencial de economia e conforto que pode ser encontrado com a substituição de aparelhos de ar condicionado por ventiladores de teto.

Na maioria das vezes, ventiladores de teto são recomendados para substituírem aparelhos condicionadores de ar ou até mesmo atuarem de maneira complementar para proporcionar economia de energia e conforto (sistemas híbridos ou *mixed-mode*), aumentando a velocidade do ar. São instalações permanentes e se dispostas no teto operam através de um interruptor ou de extensões de fios (HAWAII ENERGY CODE, 2008). Operando de maneira correta, estudos como os de Schiavon e Melikov (2008), revelam que o potencial de economia através da substituição de sistemas de ar condicionado por ventiladores de teto em climas amenos podem ocorrer numa faixa de 17% a 48%. Além deste resultado, os autores afirmaram ainda que ventiladores de teto oferecem condições mais razoáveis de conforto nos climas onde os experimentos foram realizados (Atenas, Jerusalém, Roma, Berlim, Helsinki e Bordeaux, na França).

2.2.1 Controle do usuário

Na maioria dos estudos relacionados à movimentação do ar em ambientes com temperaturas mais altas, é dada aos ocupantes a possibilidade de controlar a velocidade do ar, selecionando o seu nível preferido. Nestes estudos, argumenta-se que os ocupantes toleram maiores temperaturas e movimentação do ar, se houver a possibilidade de controle da velocidade do ar (ARENS *et al.*, 1998; FOUNTAIN *et al.*, 1994; KUBO *et al.*, 1997). Esta estratégia é vista como uma forma de adaptação dos usuários ao ambiente interno, considerando que os efeitos do ar livre, externo ao ambiente, podem ser incorporados ao mesmo através da abertura de janelas e acionamento dos ventiladores.

De acordo com Brager *et al.*, (2004) e Brager e De Dear (1998), a sensação de controle dada a estes usuários leva a uma maior confiança com relação à expectativa e proporciona maiores tolerâncias às flutuações de temperatura. É sabido há muito tempo por psicólogos da área ambiental, que a reação humana a um estímulo sensorial pode ser modificada quando a pessoa tem controle sob este estímulo. Leyten e Kurvers (2006) afirmam que o controle pessoal das variáveis ambientais permite aos ocupantes se adaptarem ao ambiente, às suas preferências pessoais e à variação temporal das suas preferências pessoais.

A disponibilidade de controle e o seu uso adequado, segundo Raja *et al.* (2001), é fundamental para o melhor desempenho de um edifício e para melhoraria na satisfação dos ocupantes. Seus estudos mostram que o uso de vários dispositivos de controle desempenha papel importante na modificação das condições térmicas no interior das edificações. Kroner e Stark-Martin (1992) relataram que a introdução do controle pessoal em ambientes internos afeta positivamente não só o conforto térmico de seus usuários, mas também a saúde dos mesmos.

Estudos conduzidos por Hedge *et al.* (1996) analisaram as causas da síndrome do edifício doente (SBS – *Sick Building Syndrome*) e, uma das principais conclusões relatou que sintomas como a secura nos olhos, garganta seca, nariz entupido e coceira nos olhos, apresentaram maior prevalência em edifícios com sistema de ar condicionado, sem janelas operáveis. Uma das possíveis causas que levou a estes resultados, segundo os autores, foi a possibilidade limitada para o controle pessoal de temperatura e suprimento de ar fresco.

Fanger (2001), ao fazer referência à síndrome do edifício doente, cita cinco princípios que são sugeridos como elementos por trás de uma nova filosofia de excelência para ambientes internos: melhorar a qualidade interna do ar aumenta a produtividade e diminui os sintomas da

síndrome do edifício doente; fontes desnecessárias de poluição interna devem ser evitadas, sendo que o ar deve ser fornecido fresco e seco aos ocupantes; o “ar personalizado”, ou seja, uma pequena quantidade de ar fresco, deve ser fornecida próxima à zona de respiração de cada ocupante (Figura 2.6); e por fim, o controle do usuário deve ser fornecido aos ocupantes; O autor afirma que estes princípios condizem com o conceito de eficiência energética e sustentabilidade.

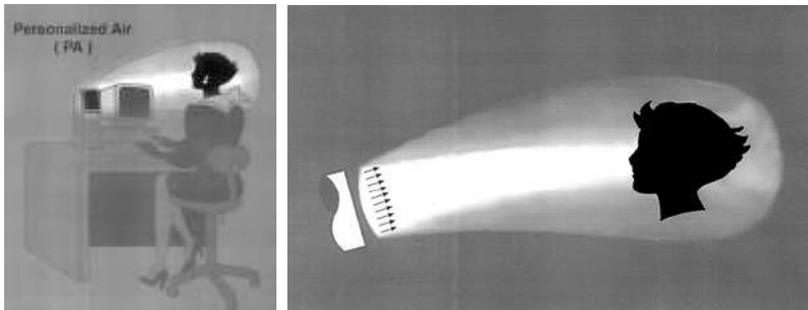


Figura 2.6 – Princípio do ar personalizado proposto por Fanger, que se baseia em pequenas quantidade de ar puro fornecido diretamente à zona de respiração dos ocupantes. Fonte: FANGER (2001)

Clements-Croome (2008), que realizou vários estudos de campo e laboratoriais a respeito da qualidade do ambiente interno (IEQ – *Indoor Environmental Quality*), concluiu que em edifícios modernos de escritórios, oferecer dispositivos de controle adaptativo aos usuários aumenta a produtividade na faixa de 2% a 3%. Resultados similares foram encontrados por Wyon (2000), indicando que a oferta de controle ambiental aos usuários durante o expediente, resulta em ambientes com menos sintomas de saúde debilitada, e maiores índices de satisfação, produtividade no trabalho e conforto térmico.

Além da facilidade de adaptação ao clima, satisfação com relação ao ambiente e conforto térmico, dispositivos de controle dentro de certos limites, permitem aos ocupantes uma compensação no funcionamento inadequado dos condicionadores de ar, economizando energia (BOERSTRA, 2010). As normas de conforto atuais, por se basearem em experimentos feitos em ambientes laboratoriais e não reais, impõem limites de velocidade do ar que acabam por restringir diversos ambientes ao uso do ar condicionado, nos quais os ocupantes têm pouco ou nenhum controle sobre as condições a que estão expostos.

A quantidade de estudos acerca dos dispositivos de controle em ambientes internos comprova que dar a oportunidade de controle aos usuários resulta em uma gama de benefícios que vão desde a maior satisfação térmica com relação ao ambiente, até um melhor desempenho do edifício por si só e das atividades desenvolvidas pelos ocupantes do mesmo. Assim, parece lógico incluir aspectos de controle pessoal nas futuras atualizações das normas de conforto (CÂNDIDO, 2010).

2.3 CONSUMO ENERGÉTICO PARA OBTENÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

Nos países em desenvolvimento como o Brasil, o crescimento do consumo de energia elétrica é constante, cerca de 3% a 5% ao ano, mesmo em períodos de estagnação econômica (ELETROBRÁS, 2007a). Mais especificamente nas edificações, este consumo corresponde a cerca de 45% do dispêndio total de energia elétrica (MME, 2007), sendo uma parte utilizada no beneficiamento e produção de materiais, e outra parte na ocupação e operação dos edifícios, incluindo aqui os sistemas de iluminação e ar condicionado

Em 2002, o consumo de operação de edifícios esteve na ordem de 25 a 50% do consumo final de energia nos países da OECD², sendo comparável ao consumo em transportes (ROSA *et al.*, 2001). Dados apresentados pelo *Buildings Energy Data Book* (2004) indicam que o consumo com condicionamento de ar corresponde a cerca de 30% do total de eletricidade utilizada nos Estados Unidos em 2002 (*US Department of Energy*, 2004), e no Brasil, esta parcela corresponde a 20% da eletricidade consumida em edifícios residenciais, chegando a 48% em edifícios comerciais (ELETROBRÁS, 2007b). Em uma escala mundial, o aumento no consumo energético para os próximos anos está estimado em 10% (MATHEWS e BOTHA, 2003).

Na Figura 2.7 é possível observar a relação do crescimento no consumo de energia dos setores residencial, comercial e público em relação ao crescimento do PIB entre os anos de 1976 e 2008. Durante este período, a taxa média de crescimento no consumo de energia elétrica foi de 6,7% ao ano. A evolução do consumo total de energia elétrica do Brasil entre os anos de 1970 e 2008 pode observada na Figura 2.8.

² Acrônimo da expressão em inglês: Organization for Economic Cooperation and Development.

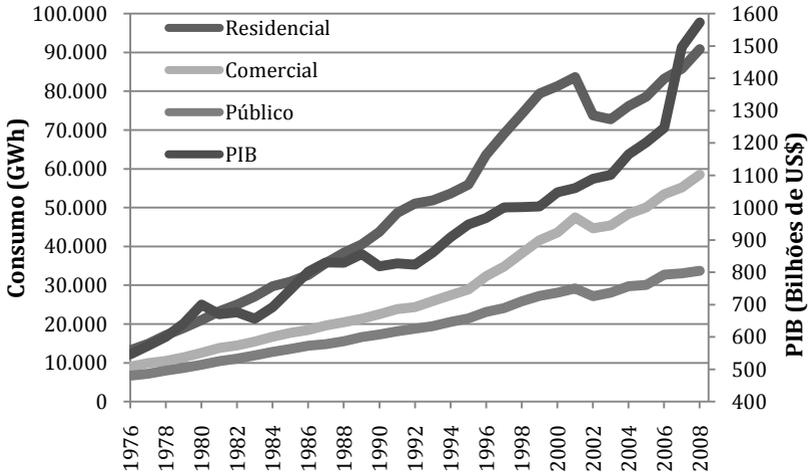


Figura 2.7 – Crescimento no consumo de energia elétrica por setor em relação ao crescimento do PIB. Fonte: adaptado de BEN 2009.

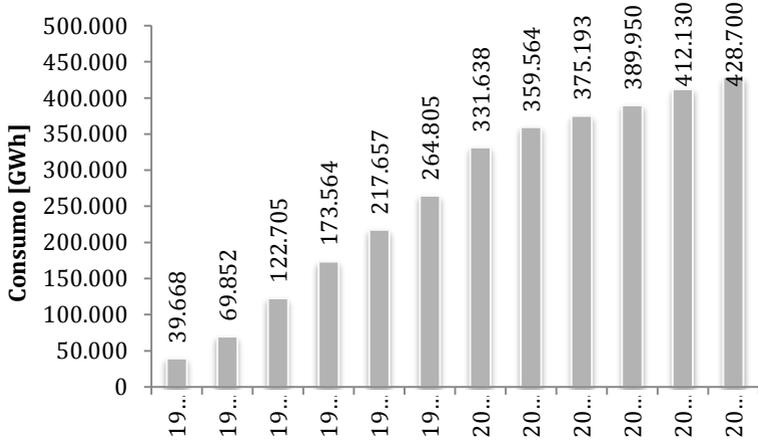


Figura 2.8 - Consumo total de energia elétrica do Brasil. Fonte: adaptado de BEN 2009.

Grande parte dessa energia consumida no setor residencial e comercial é direcionada à promoção de conforto térmico e luminoso aos usuários. De acordo com o Procel (2007), o potencial técnico de economia em edificações existentes é estimado em 25%, podendo

alcançar até 50% em prédios novos, ou seja, quando se considera a eficiência energética nas edificações desde a fase de projeto.

O Procel, ao estabelecer níveis máximos de consumo e mínimos de eficiência energética através do Selo Procel de Economia de Energia, registrou em 2007 3.724 milhões de kWh/ano de energia economizada e 1,303 milhão de kW de demanda retirada da ponta. A economia no consumo de energia através da utilização de condicionadores de ar do tipo Janela e Split Hi-Wall foi de 349.420 mil kWh/ano, conforme a Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Resultados energéticos do Procel em 2007. Fonte: Procel Avaliação (2007).

Categoria do Equipamento	Economia de Energia (mil kWh/ano)	Redução de Demanda de Ponta (kW)
Refrigeradores e Freezers	1.379.640	196.870
Condicionadores de Ar	349.420	128.876
Lâmpadas Fluorescentes Compactas ou Circulares	1.829.497	930.567
Coletores Solares	19.841	26.596
Reservatórios Térmicos	12.243	3.494
Total	3.723.623	1.302.917

Apesar da existência destes programas, ainda há um desperdício considerável de energia e grande parte desse desperdício ocorre devido a processos industriais, equipamentos, veículos e prédios ineficientes. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME, 2007), algumas barreiras ainda inibem a redução desses desperdícios, tais como:

- Tarifas relativamente baixas (quando comparadas aos padrões internacionais) e que representam pequena parte dos custos operacionais de boa parte dos consumidores industriais;
- Falta de incentivos financeiros para programas de gestão pelo lado da demanda (*Demand-side Management*);

- Baixa atratividade dos investimentos de melhoria da eficiência energética, altas taxas de juros inibindo a substituição de bens de consumo (tais como eletrodomésticos) por modelos mais novos e, portanto, mais eficientes;
- A falta de informação para grande parte da população sobre medidas e o potencial de conservação de energia.

Ao ressaltar o desperdício de energia elétrica relacionado a edifícios ineficientes, adverte-se que grande parte do problema está relacionado às grandes alterações nos projetos ocorridas a partir do início do século XX, com o uso indiscriminado do vidro e aliado ao grande aumento nas cargas internas. Como efeito adverso a essas construções, além das mudanças climáticas e aumento da temperatura atmosférica, nota-se um aumento expressivo na aquisição de condicionadores de ar por parte da população.

De acordo com o Procel (2007) e, considerando-se a elevação do poder aquisitivo de significativa parcela da população brasileira a partir do Plano Real em 1994, supõe-se que até o ano de 2030 haverá um aumento substancial na aquisição de equipamentos de ar condicionado, principalmente pela população que anteriormente não possuía nenhuma unidade do mesmo. Analisando a Figura 2.9, nota-se que de acordo com o cenário tendencial apresentado pelo Plano Nacional de Energia (MME, 2007), a posse destes equipamentos passará de 0,089 aparelhos/pessoa a uma marca de 0,235 aparelhos/pessoa, até 2030.

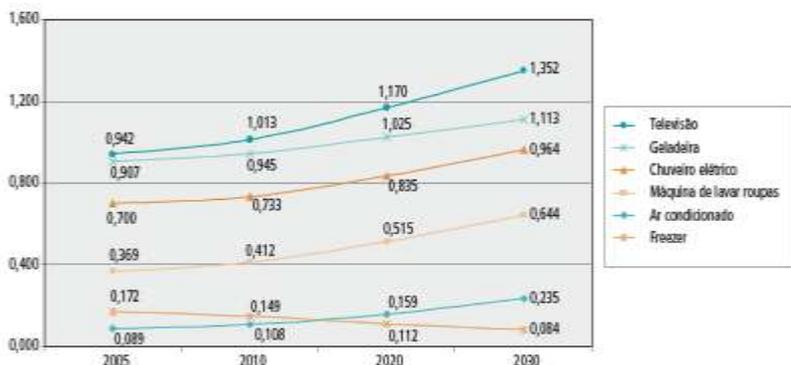


Figura 2.9 – Projeção de posse de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil. Cenário tendencial. Fonte: MME (2007).

Estudos realizados na China acerca dos condicionadores de ar e sua influência no ambiente térmico urbano, mostram que além do crescimento na aquisição destes aparelhos (Figura 2.10) e ineficiência na utilização dos mesmos, os condicionadores de ar causam também um tipo de “poluição térmica”. Ao resfriar ambientes internos, unidades condicionadoras de ar liberam grande quantidade de calor no ar livre externo, aumentando a temperatura dos centros urbanos em até 2,6°C, nos dias em que ocorre o efeito da inversão térmica em cidades como a de Wuhan (WEN e LIAN, 2009).

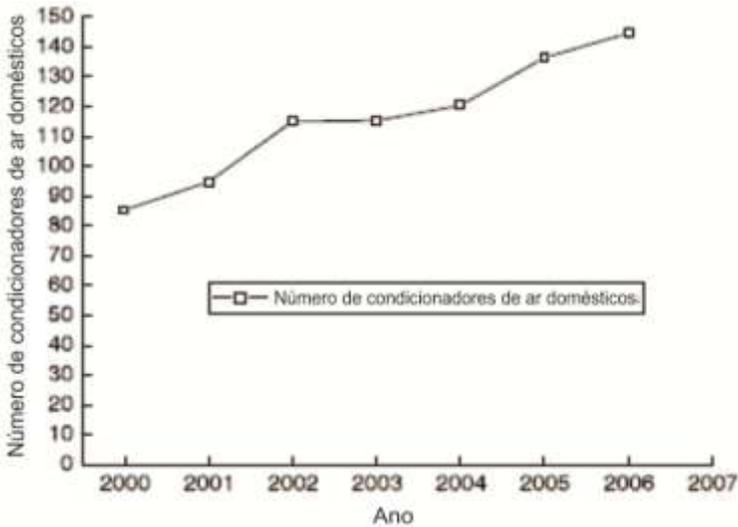


Figura 2.10 – Crescimento no número de condicionadores de ar para cada cem famílias, avaliado entre os anos de 2000 a 2007. Fonte: Wen e Lian (2009).

Nos Estados Unidos e na Austrália, pesquisadores afirmam que 25% das emissões de gases e efeito estufa é proveniente do consumo de energia elétrica destinada à climatização de ambientes. Não obstante, nestes países o crescimento na aquisição de aparelhos condicionadores de ar é significativo. De acordo com De Dear e White (2008), em 2004 estimava-se que cerca de 47% das famílias tinham sistemas de ar condicionado. Ao analisar a Figura 2.11, observa-se um crescimento na posse de condicionadores na ordem de 81% na Austrália com relação ao ano de 1994.

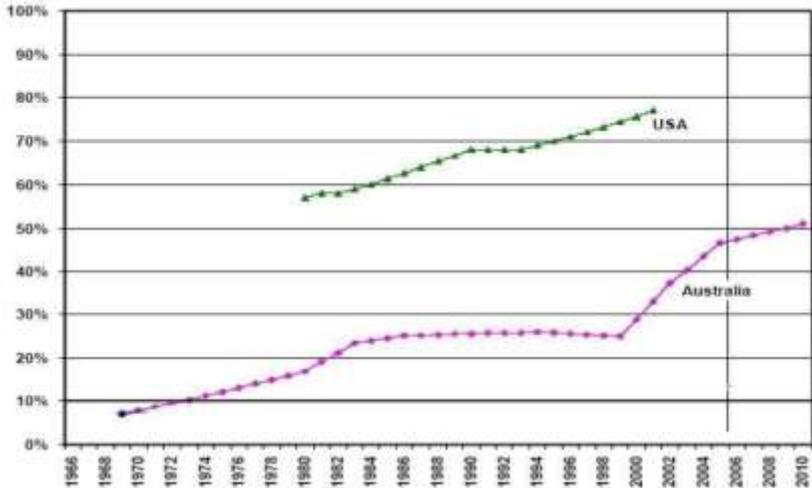


Figura 2.11 – Proporção de domicílios com ar condicionado nos Estados Unidos e Austrália.

O impacto atribuído ao crescimento na utilização de aparelhos de ar condicionado de acordo com De Dear e White (2008), incluem:

- Aumento na demanda de energia;
- Aumento nas emissões de gases do efeito estufa; os pesquisadores frisam que na Austrália o resfriamento e aquecimento artificial é responsável por 14% das emissões domésticas de gases formadores do efeito estufa e 39% do consumo de energia (WILKENFELD, 2004);
- Aumento na demanda de eletricidade nos horários de pico.

No Brasil, mesmo com a efficientização dos aparelhos de ar condicionado através do selo Procel (Tabela 2.8 e Tabela 2.9), que tem uma participação estimada em 60% nos modelos, a ineficiência dos edifícios e o uso indiscriminado por parte da população faz com que se consuma desnecessariamente, causando o desperdício de energia. De acordo com Mascaró (1992), de 25 a 45% da energia elétrica em edificações é consumida indevidamente por má orientação e desenho inadequado das fachadas.

Tabela 2.8 – Eficiência média dos condicionadores de ar tipo “janela” por faixa de capacidade. Fonte: Procel Avaliação(2007).

Capacidade Refrigeração CR (Btu/h)	Eficiência Média dos Equipamentos sem o Selo (KJ/Wh) 1999 - 2006	Eficiência Média dos Equipamentos com o Selo (KJ/Wh) 2007	Varição na Eficiência Energética
5.000 - 12.300	8,13	10,75	32%
14.000 - 30.000	9,00	10,21	13%

Tabela 2.9 – Eficiência média dos condicionadores de ar tipo “split” por faixa de capacidade. Fonte: Procel Avaliação (2007).

Capacidade Refrigeração CR (Btu/h)	Eficiência Média dos Equipamentos sem o Selo (KJ/Wh) 1999 - 2006	Eficiência Média dos Equipamentos com o Selo (KJ/Wh) 2007	Varição na Eficiência Energética
5.500 - 12.200	9,50	11,04	16%
13.000 - 36.000	9,87	11,05	12%

Neste contexto, cabe ressaltar que algumas estratégias de projeto, como a orientação, forma e massa dos edifícios, além da correta especificação de materiais de construção, podem minimizar em até 30% a absorção da carga térmica do edifício (GOMES, 2002). Outras estratégias como a utilização de coberturas vegetais e o sombreamento de janelas também contribuem para a minimização da absorção das cargas térmicas em edificações. Romero (1991) frisa que as inovações tecnológicas em produtos acontecem, mas o projeto arquitetônico como um todo deve ser pensado de maneira correta, promovendo conforto de forma natural sempre que possível.



Figura 2.12 – Estratégias passivas de projeto para a obtenção de conforto térmico.

Em Florianópolis, onde o clima pode ser caracterizado como superúmido (NIMER, 1989) com diferenças significativas entre verão e inverno, o incremento na velocidade do ar é bem-vindo durante as estações mais quente, mas pode gerar desconforto se ocorrer em excesso durante as estações mais frias. Assim, o uso de dispositivos complementares do movimento do ar, tais como os ventiladores, pode ser adotado para estações com temperaturas mais altas se associado ao controle dos usuários, principalmente durante o inverno. No entanto, estudos relacionados à aceitabilidade do ar para este contexto climático ainda são escassos.

2.3.1 Normatização em conforto térmico

As normas ou regulamentações para a efficientização de edifícios têm dois papéis principais com relação à utilização da ventilação natural. A existência das mesmas pode acarretar em um impulso para tal utilização, ou de algum outro dispositivo específico ao clima. Como exemplo, Allard e Utsumi (1992) citam o código da Holanda, que foca o desempenho energético global de um edifício (*Dutch Energy Performance Norm*) e identifica alternativas para a utilização da ventilação natural. O autor cita também o código existente na Suíça, onde é exigida uma autorização para a utilização de equipamentos de ar condicionado, o que torna obrigatória a comprovação da sua necessidade. Contudo, se as normas e regulamentações não existem ou não tratam corretamente a questão, acabam por se tornar uma barreira.

No Brasil não existem normas específicas que dispõem de métodos para avaliação da sensação térmica das pessoas. Na prática, adotam-se intervalos de conforto para homens europeus e norte-americanos (com biótipo e metabolismo diferentes do brasileiro) estabelecidos em climas temperados. Dentre as normas encontradas na ABNT, se destaca para fins de conforto a NBR 6401/89 – Instalações centrais de ar condicionado para conforto térmico. Nesta norma, são especificados intervalos de temperatura dos ambientes e umidade relativa para o conforto térmico de pessoas em atividades sedentárias.

Já as principais normas internacionais na área de conforto ambiental são elaboradas pela *Internacional Organization for Standardization* e pela *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers*. Dentre as principais, citadas como as mais importantes estão:

- ISO 7243/89 - Ambientes quentes - Estimativa de stress por calor em trabalhadores, baseado no índice IBUTG (Índice de bulbo úmido e temperatura de globo). Esta norma fornece um método que pode ser utilizado em ambientes industriais, utilizando-se o índice IBUTG, permitindo um rápido diagnóstico.
- ISO/DIS 7726/98 - Ambientes Térmicos - Instrumentos e Métodos para medições das quantidades físicas. Esta norma especifica as características mínimas dos instrumentos de medição das variáveis físicas, bem como apresenta métodos de medição desses parâmetros.
- ISO 7730/94 – Ambientes térmicos moderados – Determinação dos índices PMV e PPD e especificações das condições para conforto térmico. Esta norma propõe um método de determinação da sensação térmica e o grau de desconforto das pessoas expostas a ambientes térmicos moderados e especifica condições térmicas aceitáveis para se atingir conforto térmico. Esta norma se aplica para a avaliação do efeito médio do calor sobre o homem durante um período representativo de sua atividade, não se aplicando na avaliação do stress verificado durante períodos muito curtos, e nem para a avaliação de stress por calor próximo das zonas de conforto térmico.
- ISO 7793/89 – Ambientes quentes – Determinação analítica e interpretação do stress térmico, utilizando o cálculo da taxa requerida de suor. Esta norma especifica um método de avaliação e interpretação do stress térmico a que está sujeita uma pessoa em um ambiente quente, através do índice da taxa requerida de suor (SWreq.) Descreve ainda um método para o cálculo do balanço térmico, bem como para o cálculo da taxa de suor requerida pelo corpo para se manter o balanço em equilíbrio.
- ISO 10551/95 - Ergonomia de ambientes térmicos - Verificação da influência do ambiente térmico usando escalas subjetivas de julgamento. Esta norma fornece subsídios para a construção e uso de escalas de julgamento (tais como escala de percepção ou de conforto térmico, de preferências térmicas, de aceitabilidade térmica e de tolerância térmica) para a utilização na obtenção de dados confiáveis e comparativos sobre os aspectos subjetivos do conforto e estresse térmico.
- ISO/TR 11079/93 - Avaliação de ambientes frios - Determinação do isolamento requerido das vestimentas (IREQ). Este relatório técnico internacional propõe métodos e estratégias para se verificar

o stress térmico, associado à permanência em ambientes frios, através da utilização do índice IREQ. Os métodos aplicam nos casos de exposição contínua, intermitente ou ocasional nos ambientes de trabalho, tanto externos como internos.

- ASHRAE Standard 55 - 1992 – Ambientes Térmicos - Condições para ocupação humana. Esta norma especifica condições ambientais aceitáveis para a saúde de pessoas sujeitas a pressões atmosféricas equivalentes a altitudes superiores a 3.00 metros em ambientes internos projetados para ocupação humana por períodos não inferiores a 15 minutos.
- ASHRAE Fundamentals Handbook - cap. 8 Thermal Comfort – 2005. Guia normativo da ASHRAE que apresenta os fundamentos de termo-regulação humana e conforto em termos úteis aos engenheiros para a operação de sistemas e preparação de projetos e aplicações para o conforto dos ocupantes de edificações. Apresenta de maneira sumarizada todos os dizeres das normas ISO citadas anteriormente.

No âmbito internacional até pouco tempo, engenheiros e arquitetos estavam limitados quanto à possibilidade de se usar a ventilação natural devido aos parâmetros estipulados pela ASHRAE 55 e ISO 7730. Estes parâmetros eram considerados rigorosos por não distinguirem de maneira correta o que é termicamente aceitável em ambientes climatizados e em ambientes ventilados naturalmente. Consequentemente, as normas foram revistas, sobretudo a ASHRAE 55, que passou a estabelecer que usuários podem tolerar maiores flutuações nas condições ambientais quando é oferecido a eles o controle destas condições.

A norma ISO 7730/1994 foi revisada e atualizada para a versão ISO 7730/2005. Nesta nova versão, foi adicionado um novo método para avaliação da sensação térmica de períodos longos, bem como informações sobre o desconforto térmico localizado, condições em estado não estacionário e adaptação. Além destas alterações, foi adicionado um anexo que estipula a maneira como os requisitos de conforto térmico podem ser expressos em diferentes categorias.

A ASHRAE Standard 55 – 1992 foi revista para permitir velocidades do ar mais altas que as previstas nas versões anteriores, nos casos em que é oferecido aos ocupantes a oportunidade de controle. As alterações proporcionaram aos projetistas maiores condições para se estabelecer quando e de que maneira o condicionamento artificial deve

ser implantado em um edifício, e quando e sob quais circunstâncias a ventilação natural pode ser incorporada como uma estratégia passiva.

Com relação às normas brasileiras, Cândido *et al.* (2010) apresenta em suas pesquisas diretrizes para ambientes ventilados naturalmente em climas quentes e úmidos, para que os requisitos específicos à aceitabilidade do ar e conforto térmico sejam cumpridos. Segundo a autora, a velocidade do ar dentro do contexto climático brasileiro é essencial para a obtenção de conforto, enquanto que a combinação entre aceitabilidade térmica e aceitabilidade da velocidade do ar ainda se constitui no principal desafio a ser enfrentado dentro de ambientes internos.

2.4 CONTEXTO CLIMÁTICO DE FLORIANÓPOLIS/SC

De acordo com o zoneamento climático brasileiro, estabelecido pela NBR 15220/2003, Florianópolis por ser uma ilha localizada ao sul do Brasil e entre os paralelos 27°10' e 27°50' de latitude sul e entre os meridianos 48°25' e 48°35' de longitude oeste, se localizada na zona climática 3. Esta zona abrange apenas 6,5% do território brasileiro, e segundo Papst (1999) conta com a presença de duas massas de ar: a Massa Tropical Atlântica, que atua durante todo o ano, principalmente primavera e verão e a Massa Polar Atlântica, que atua principalmente no outono e inverno. O contato entre as duas massas proporciona uma boa distribuição de chuvas durante todo o ano. A Massa Tropical Atlântica é caracterizada pelos ventos do quadrante norte e se apresenta com elevadas temperaturas e forte umidade. A Massa Polar Atlântica, originária da zona Subantártica, se caracteriza por ventos do quadrante sul e por temperaturas baixas. O encontro das duas Massas de Ar forma a Frente Polar Atlântica, resultando em chuvas com a passagem desta frente em direção ao norte. Após a passagem desta frente o tempo torna-se estável, com temperaturas mais baixas.

Ao analisar o ano climático de referencia (TRY) para a cidade de Florianópolis/SC, verifica-se que o maior valor de temperatura média mensal corresponde a 24,5°C, e ocorre durante o mês de fevereiro. O valor mais baixo de temperatura foi encontrado durante o mês de julho, correspondendo a 16,6°C. O valor de umidade relativa anual corresponde a 83% (GOULART *et al.* 1997). De acordo com Nimer (1989), o clima pode ser caracterizado como subquente, com invernos amenos. O valor da temperatura média inferior oscila entre 15°C e 18°C nos meses mais frios, e o valor da temperatura média superior oscila entre 24°C e 26°C nos meses mais quentes.

A Figura 2.13 apresenta os dados climáticos de Florianópolis a partir do ano climático de referência (TRY) plotados sob a carta bioclimática de Givoni. Analisando os dados encontrados no relatório gerado pelo Software AnalysisBio, verifica-se que em 21% do ano ocorrem as condições de conforto, 40,8% ocorre o desconforto pelo frio e em 38,2% do ano ocorre o desconforto pelo calor. A Tabela 2.10 apresenta as principais estratégias indicadas para se obter conforto térmico nesta zona.

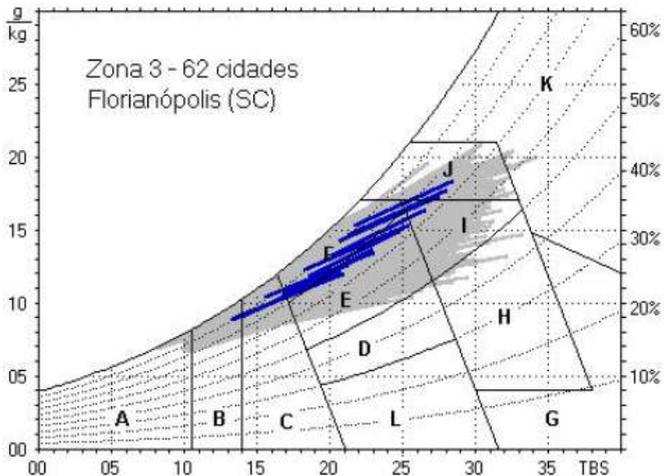


Figura 2.13 – Carta bioclimática para a zona 3. Fonte: ABNT NBR – 15220 (2003).

Tabela 2.10 – Estratégias bioclimáticas para a cidade de Florianópolis/SC, obtidas através do Software AnalysisBio.

Sensação	Estratégia	(%) Horas
Desconforto por calor	Ventilação	36,50%
	Resfriamento evaporativo	0,89%
	Massa térmica para resfriamento	0,94%
	Ar condicionado	1,68%
Desconforto por frio	Massa térmica + Aquecimento solar	35,40%
	Aquecimento solar	3,84%
	Aquecimento artificial	1,53%

Analisando os dados obtidos através do software, verifica-se que durante o verão a estratégia mais adequada para obtenção de conforto térmico é a ventilação, correspondendo a 36,5% das horas, enquanto a utilização de ar condicionado é indicada em apenas 1,68%. Com relação à velocidade dos ventos, pode-se dizer que o comportamento dos mesmos é muito variável. Nos meses de janeiro, maio e agosto, notam-se valores mais fracos com relação aos demais. No mês de outubro observam-se os valores de velocidade mais altos. Com relação à direção dos ventos, observa-se uma maior predominância na direção norte, seguida da direção sul (Figura 2.14).

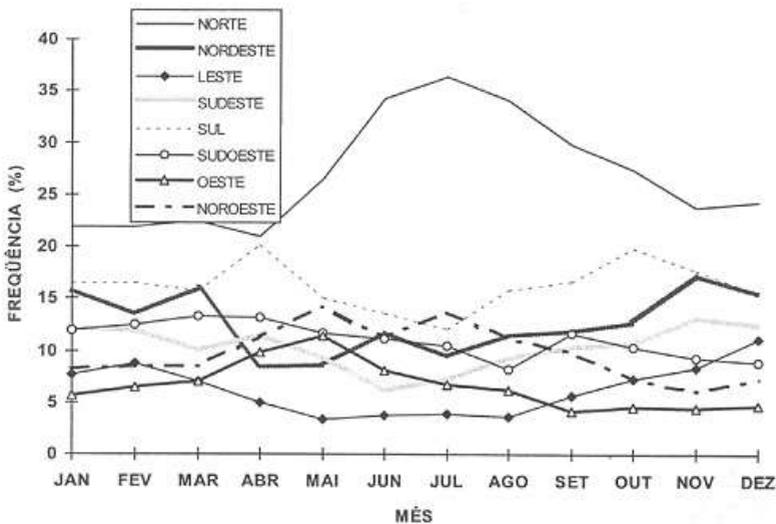


Figura 2.14 – Frequência mensal de direção e intensidade dos ventos. Fonte: GOULART *et al.* (1997).

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentados alguns conceitos e pesquisas realizadas acerca do tema “conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar”. Ao que se percebe, o tema é bastante discutido, mas estudos realizados a fim de se analisarem os limites de velocidade e requisitos específicos para ambientes condicionados artificialmente ou não, ainda se constituem em uma lacuna na área.

Os trabalhos apresentados ressaltaram a importância de todas as particularidades envolvidas quando se deseja obter conforto térmico em

ambientes internos, que vão desde a percepção e sensação térmica dos usuários até peculiaridades como o controle das variáveis ambientais para tolerâncias mais altas com relação à temperatura. Ao final do capítulo, nota-se que ao proporcionar conforto térmico, é preciso levar em conta os conceitos de sustentabilidade e eficiência energética, para que os gastos e consumos exacerbados de energia elétrica sejam minimizados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O método adotado neste trabalho consiste em uma análise qualitativa de conforto térmico e movimento do ar. Para tal, experimentos de campo foram desenvolvidos em ambientes escolares, com medições das variáveis ambientais (temperatura do ar, de globo, velocidade do ar e umidade relativa do ar) simultaneamente ao preenchimento de questionários de conforto e aceitabilidade do movimento do ar pelos usuários.

Os experimentos de campo foram divididos em 3 fases. A primeira, de caráter qualitativo, foi realizada nos ambientes experimentais utilizados e definiu o perfil dos usuários entrevistados, os instrumentos necessários, bem como o questionário aplicado para a obtenção dos dados subjetivos. A segunda parte foi dedicada aos experimentos pilotos, que tiveram como objetivo principal o refinamento do protocolo de medição; a terceira e última parte foi dedicada ao desenvolvimento dos experimentos de campo.

3.1 AMBIENTES DE MEDIÇÃO

A escolha do local para a realização do experimento de campo compreendeu parâmetros pré-definidos como: a presença de ventiladores de teto, aparelhos de ar condicionado e o comparecimento de usuários que desempenhassem a mesma atividade. Atendido estes requisitos, foram selecionadas duas salas de aula do bloco de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, localizada em Florianópolis/SC. A Figura 3.1 apresenta a posição das salas de aula selecionadas, sendo a marcação A, sala 02 e B, sala 03.

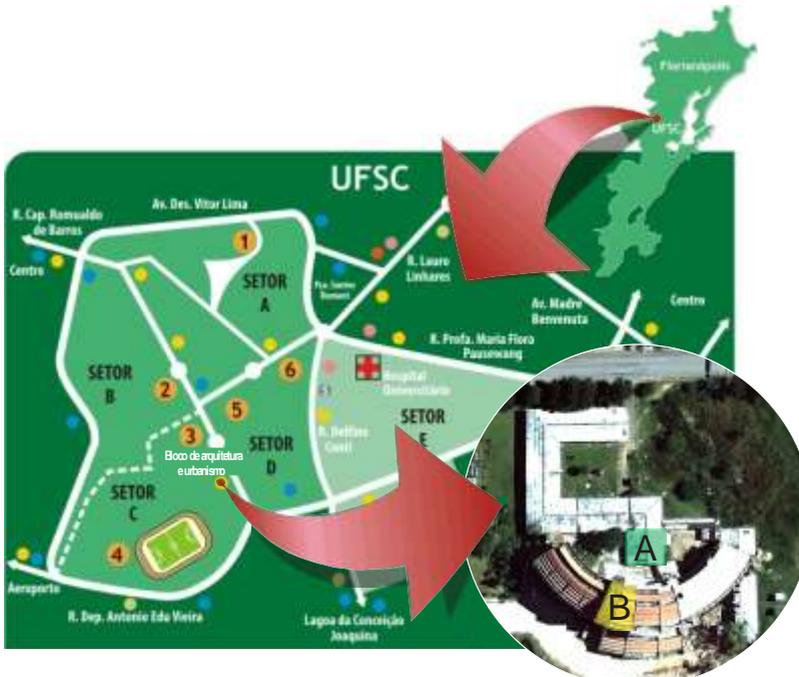


Figura 3.1 – Bloco de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina e localização das salas de aula 02 (A) e 03 (B) escolhidas para a realização do experimento.

A sala de aula 02 abrange uma área útil de 63m², envoltas por paredes e forro de madeira e com janelas em fita do tipo “guilhotina”, que estão posicionadas em toda a parede oeste. A sala possui 4 ventiladores de teto, dentre eles 1 danificado e que foi inutilizado (Figura 3.2). Os ventiladores possuem regulagem da velocidade do ar, que oscilam entre valores mínimos e máximos. Cabe aqui dizer que, todas as medições foram realizadas na regulagem máxima. A sala possui ainda 2 aparelhos de ar condicionado de janela conforme a Figura 3.3 (na figura 3.3, C – modelo Totaline, 30.000 Btu e D: modelo Elgin, 10.000 Btu) e capacidade para 56 alunos.

A sala de aula 03 localizada no prédio novo, envolve uma área útil de 57m², envoltas por paredes e forro de alvenaria, com janelas do tipo “máximo ar com giro de 90°” e que estão posicionadas na parede sudoeste. A sala possui 1 ventilador de teto sem regulagem de velocidade, com acionamento direto no interruptor de luz, e 1 aparelho de ar condicionado do tipo split, Consul - 29.000 Btu, acionado por controle e

utilizado durante as medições com um set-point de 23°C (Figura 3.5). A sala tem capacidade para 42 alunos (Figura 3.4).

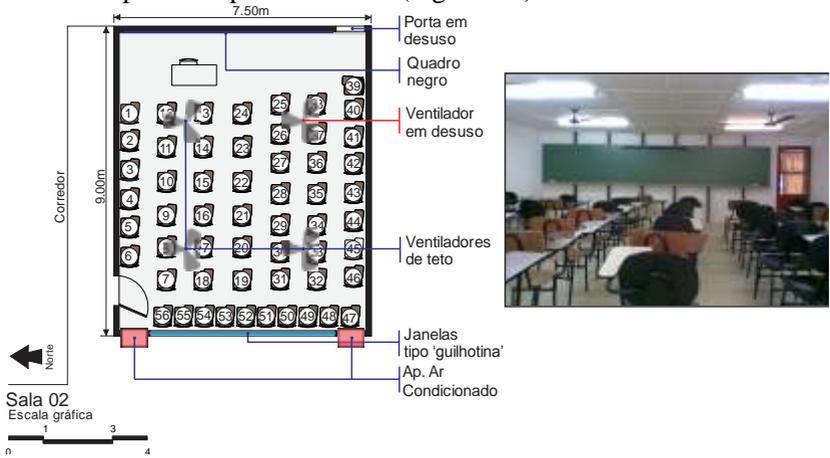


Figura 3.2 – Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 02.

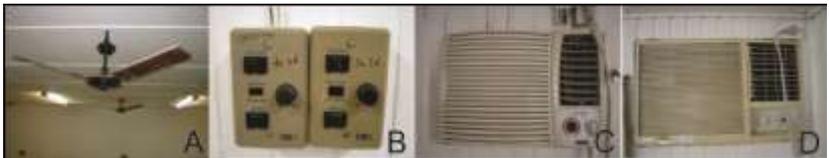


Figura 3.3 – Equipamentos da sala 02: A. Ventiladores de teto; B. Acionadores dos ventiladores; C. Ar Condicionado (direito); D. Ar condicionado (esquerdo).

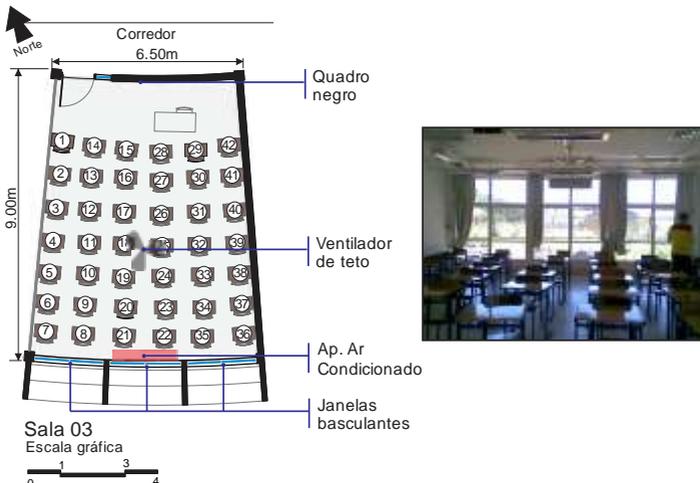


Figura 3.4 – Localização e disposição dos equipamentos na sala de aula 03.



Figura 3.5 – Detalhe dos equipamentos da sala 03: A. Ventilador de teto; B. Condicionador de ar; C. Controle do condicionador de ar.

3.2 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

Para a realização do experimento foram utilizados uma estação microclimática que mediu as variáveis ambientais, e um termo-anemômetro portátil de fio quente que mediu os valores de velocidade do ar em cada ponto pré-estipulado no layout das salas de aula.

Ambos os equipamentos foram fabricados pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da Universidade Federal de Santa Catarina (LMPT/UFSC), e vieram pré-calibrados. Entretanto, os equipamentos foram testados e calibrados novamente antes da realização do experimento para que fosse garantida a eficácia dos resultados (Apêndice A).

3.2.1 Estação Microclimática SENSU

A estação microclimática SENSU foi utilizada durante todas as medições para aquisição de dados de temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo. O equipamento é composto de um mini *datalogger* que registra dados em arquivos no formato “txt” e dois sensores adaptados a um tripé com altura ajustável, conectados ao *datalogger* através de um cabo (Figura 3.6).

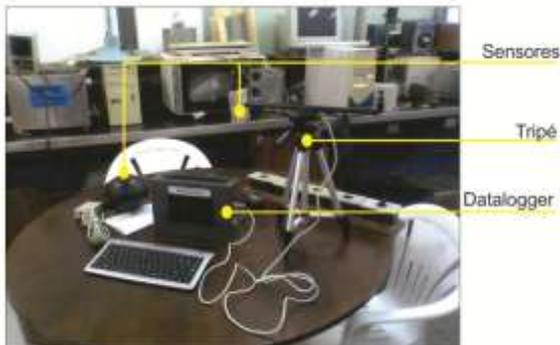


Figura 3.6 – Estação microclimática SENSU. Componentes e sensores.

A estação microclimática dispõe de softwares para monitoração térmica e tratamento dos dados descritos a seguir:

- SENSU Aquis: programa executável que realiza a aquisição dos dados. Nele, acompanha-se em tempo real o comportamento das variáveis, podendo iniciar ou interromper a medição a qualquer instante, além de possibilitar a escolha pelo intervalo de registro de dados.
- SENSU Visual: macro do Microsoft Excel que forma os gráficos a partir dos arquivos das variáveis ambientais medidas.

3.2.2 Termo-anemômetro portátil de fio quente

O termo-anemômetro portátil de fio quente foi desenvolvido exclusivamente para o experimento realizado neste trabalho, com um sensor omnidirecional para medir a velocidade do ar nos sentidos vertical e horizontal promovida por ventiladores de teto. O equipamento foi utilizado durante o mapeamento da velocidade do ar e seu sensor do é similar ao sensor de velocidade e temperatura do ar da estação microclimática SENSU, funcionando sob o mesmo princípio.

O sistema é composto de 2 sensores - quente e frio - que funcionam por diferença de tensão (em volts) para o registro dos valores de velocidade e temperatura do ar, além de possuir um suporte com altura média de 60 cm e um visor que exhibe em tempo real os valores de velocidade e temperatura do ar medidos (Figura 3.7).



Figura 3.7 – A) Termo-anemômetro portátil utilizado no experimento, B) Detalhe do visor, C) Detalhe dos sensores de temperatura e velocidade do ar.

3.3 QUESTIONÁRIO

O questionário (apêndice B) reuniu dados que foram utilizados para a verificação e armazenamento da frequência das variáveis individuais dos usuários durante o experimento. As questões focaram no conforto térmico, aceitabilidade térmica e da velocidade do ar, além de aspectos relativos à exposição prévia de usuários em ambientes com o uso de aparelhos de ar condicionado, vestimentas e dados antropométricos.

Composto de 3 partes, o questionário foi estabelecido da seguinte maneira:

- Parte A: características antropométricas individuais dos usuários como o peso, altura, idade e sexo. Envolve também informações relativas à vestimenta dos usuários, bem como a sua localização dentro da sala de aula (Figura 3.8).
- Parte B: questões que buscam verificar a exposição prévia dos usuários ao uso dos aparelhos de ar condicionado, preferência de climatização (ativa, passiva ou mecânica) de ambientes e problemas relacionados ao uso dos ventiladores de teto (Figura 3.9).
- Parte C: questões de sensação, conforto, aceitabilidade e preferência térmica, bem como aceitabilidade e preferência do movimento do ar. (Figura 3.10).

Os questionários foram aplicados 30 minutos após o início das aulas para minimizar a influência das atividades metabólicas anteriores aos experimentos. De maneira complementar, os usuários foram solicitados a registrar no questionário sua atividade anterior ao início do experimento.

B. HABITOS E PREFERÊNCIAS PESSOAIS

B1. Como você se classifica?

- Frioento
 Calorento
 Normal

B2. Qual atividade você estava desenvolvendo meia hora antes de estar aqui?

B3. Se você pudesse escolher, qual dessas estratégias para climatização de ambientes você utilizaria?

Ventilação Natural

Ventilação Natural e Ventiladores

Ar condicionado

B4. Qual a sua opinião sobre o uso de ventiladores de teto? Justifique se necessário.

Incomoda

Tanto faz

Melhora o ambiente

B5. Você normalmente utiliza ar condicionado em ambientes internos? Se sim, responda à próxima pergunta (B6).

Sim

Não

B6. Quando e por quanto tempo você fica em ambientes com ar condicionado?

Local	Horas por dia
Em casa	
No carro	
No trabalho	

B7. Para você, qual o maior problema relacionado ao uso de ventiladores de teto?

Ruído

Velocidade do ar e voo de papéis

Figura 3.9 – Questionário aplicado durante o experimento – parte B.

C. SENSACÕES TÉRMICAS

C1. Por favor, escolha a situação que melhor representa a maneira como você está se sentindo agora.

Com muito frio	<input type="checkbox"/>				
Com frio	<input type="checkbox"/>				
Levemente com frio	<input type="checkbox"/>				
Neutro	<input type="checkbox"/>				
Levemente com Calor	<input type="checkbox"/>				
Com calor	<input type="checkbox"/>				
Com muito calor	<input type="checkbox"/>				

C1. Como você preferia estar se sentindo agora?

Mais aquecido | | | |

Não Mudar | | | |

Mais resfriado | | | |

C2. Como você se sente neste momento em relação a velocidade do ar nesta sala?

Inaceitável	Muita velocidade do ar	<input type="checkbox"/>				
	Pouca velocidade do ar	<input type="checkbox"/>				
Aceitável	Pouca velocidade do ar	<input type="checkbox"/>				
	Suficiente velocidade do ar	<input type="checkbox"/>				
	Muita velocidade do ar	<input type="checkbox"/>				

C3. Qual a sua preferência em relação ao movimento do ar nesta sala? Você gostaria de...

Mais velocidade do ar | | | |

Não mudar | | | |

Menos velocidade do ar | | | |

C4. Para você, este ambiente térmico é aceitável?

Sim | | | |

Não | | | |

C5. Quão confortável está a sala neste momento?

Confortável | | | |

Desconfortável | | | |

C6. Houve alguma mudança de vestimenta durante um horário e outro? Qual?

Figura 3.10 – Questionário aplicado durante o experimento – parte C.

Durante a discussão dos resultados utilizou-se a escala de Fanger (1970), com valores relativos às sensações térmicas descritas pelos usuários conforme mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Escala de sensações térmicas utilizada na discussão dos resultados.

Escala de Sensações Térmicas	
-3	Com muito Frio
-2	Com frio
-1	Levemente com Frio
0	Neutro
1	Levemente com calor
2	Com calor
3	Com muito calor

3.4 EXPERIMENTO PILOTO

O experimento piloto foi realizado durante os dias 26 e 27 de novembro de 2009, no período da tarde. Tal experimento foi efetivado para se testarem e calibrarem os sensores dos instrumentos de medições, bem como refinar o método proposto, o que resultou em modificações e contribuições para a formação de um novo método de trabalho.

Em um primeiro momento as avaliações de conforto e aceitabilidade térmica ocorreriam com as janelas dos ambientes abertas, permitindo a entrada da ventilação natural e consentindo aos usuários o acionamento dos ventiladores de teto no momento em que eles julgassem necessário, admitindo assim oportunidades adaptativas. Com a efetivação do experimento piloto, contactou-se que ao adotar este procedimento, os valores de velocidade do ar teriam que ser medidos concomitantemente às respostas dos usuários nos questionários, o que limitaria o número de entrevistados por intervalo de votos, estipulados a cada 20 minutos. A partir daí definiu-se que o experimento seria realizado com as portas e janelas fechadas, simulando um ambiente laboratorial térmico com velocidades de ar constantes, provenientes dos ventiladores de teto e, eventualmente, dos condicionadores de ar (*mixed-mode* ou sistemas híbridos), de maneira que não houvesse influência da ventilação natural. Este novo procedimento permitiu que as medições se realizassem também durante as aulas expositivas, com um número maior de usuários e um

controle mais efetivo das atividades realizadas no momento em que as respostas dos questionários eram obtidas.

Quanto ao questionário, após a medição piloto contactou-se que nem todos os usuários avaliavam o uso dos ventiladores de teto como uma estratégia positiva para incremento da velocidade do ar, o que fez com que se acrescentassem perguntas complementares relacionadas ao uso dos mesmos: “Para você, qual o maior problema relacionado ao uso de ventiladores de teto?” e “Qual a sua opinião sobre o uso de ventiladores de teto? Justifique.” Dentre as alternativas para cada pergunta estavam respectivamente: “ruído ou velocidade do ar e voo de papéis” e “incomoda, tanto faz ou melhora o ambiente”.

Com o arranjo dos novos procedimentos de medição, estabeleceram-se critérios de exclusão para os questionários: usuários que chegaram após o início do experimento; respostas de usuários que deixaram a sala durante a realização do experimento; questionários com dados inconsistentes ou com algum erro de marcação. Também foram recusados questionários com informações incompletas ou com respostas de fundo pejorativo.

3.5 PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO

3.5.1 Mapeamento da velocidade do ar nas salas de aula

Em momentos distintos, ocorreram o mapeamento prévio dos valores de velocidade do ar nas salas de aula e as medições de conforto e aceitabilidade referentes ao experimento com os usuários. Primeiramente, o mapeamento ocorreu para que se estabelecessem intervalos de velocidade do ar em pontos pré-estabelecidos, nos quais os usuários estariam sentados durante os experimentos. Através do mapeamento, permitiu-se distinguir valores de velocidade atribuídos a cada usuário, sob o qual estariam expostos de acordo com a localização dentro da sala de aula. Os valores de velocidade do ar encontrados para cada ponto serão utilizados tanto para as análises de conforto, aceitabilidade térmica e da velocidade do ar, como para os cálculos individuais de PMV, PPD e de SET.

O mapeamento ocorrerá em duas datas distintas para cada sala de aula (02 e 03), cumprindo-se ao final 8 medições em 4 situações distintas: com e sem usuários, com e sem o uso dos condicionadores de ar. Em todas as situações, os ventiladores de teto permaneceram ligados o tempo todo. Os valores de velocidade do ar para cada ponto foram coletados a cada 10 segundos, durante 3min. e 20s., totalizando assim 20 medições

em cada ponto; considerando as duas medições nas duas datas, totalizaram-se 40 valores para cada carteira. Estes valores coletados foram organizados, e apresentados em forma de mapas (ver resultados, item 4.1). O valor final da velocidade do ar foi concebido a partir de médias resultantes das 40 medições em cada ponto.

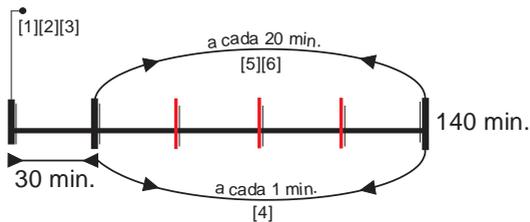
3.6 PROTOCOLO DE MEDIÇÃO

Após o refinamento do método, ocorrido posteriormente ao experimento piloto, definiu-se o protocolo de medição a ser utilizado durante as medições do experimento, realizadas nos meses de Março, Abril, Maio e Novembro de 2010. Para a efetivação das medições, alguns procedimentos preliminares tinham de ser efetivados: os equipamentos montados e acionados 30 minutos antes do início da aula para que os sensores se estabilizassem; as janelas e portas tinham que permanecer fechadas e os ventiladores ligados constantemente; as carteiras eram arranjadas de maneira a respeitar a numeração e o layout interno pré-estabelecidos. Após serem explicadas as condições do experimento aos alunos, era enfatizado que os aparelhos de ar condicionado poderiam ser acionados a qualquer momento, desde que partisse de uma iniciativa entre os mesmos.

A estação microclimática SENSU foi localizada continuamente em um ponto central à sala de aula e seus sensores regulados a 60 cm do chão, altura relativa ao tórax dos usuários sentados conforme recomendação da ISO 7730/2005. Após a chegada dos alunos, informava-se que os mesmos responderiam ao questionário de conforto durante 80 minutos a partir do primeiro voto, e solicitava-se que não deixassem a sala de aula durante a realização do experimento. Após os 30 minutos iniciais respeitados, dava-se abertura ao preenchimento dos questionários. A partir daí, considerava-se que a taxa de metabolismo atingia um valor adequado ao experimento – atividade sedentária com valor de 58 W/m^2 para as aulas expositivas onde os usuários não interagem e, 70 W/m^2 para aulas expositivas com participação mais ativa dos usuários (realização de exercícios, debates, etc.) conforme as tabelas encontradas na ISO 7730, anexos B e C.

Após o início da aula e preenchimento dos questionários, os alunos eram instruídos a responderem as perguntas de conforto, aceitabilidade térmica e da velocidade do ar sempre que fosse solicitado, respeitando um intervalo de 20 a 30 minutos para cada resposta (Figura 3.11). Para que as atividades dos usuários e as aulas não fossem interrompidas, esboçava-se

no quadro negro um relógio que informava o momento exato em que o questionário deveria ser preenchido.



- [1] Procedimentos preliminares
- [2] Acionamento da estação microclimática
- [3] Distribuição dos questionários e instruções aos usuários
- [4] Medição contínua das variáveis ambientais
- [5] Avaliação térmica e do movimento do ar
- [6] Observações contínuas aos usuários (entrada e saída, acionamento do ar condicionado)

Figura 3.11 – Esquema adotado para a realização dos experimentos.

Com os dados ambientais (temperatura, umidade relativa e temperatura de globo) armazenados minuto a minuto na estação, juntamente com os dados de velocidade do ar fixados para cada posição dentro das salas de aula obtidos de acordo com a localização em que os alunos apontavam no questionário, e os dados subjetivos, foram calculados os índices PMV e PPD com o auxílio do software *ASHRAE Comfort* (WinComf[®]), desenvolvido por Fountain e Huizenga (1995).

3.7 ANÁLISE DOS DADOS

Após a realização do experimento de campo, os dados serão organizados e reunidos em um banco de dados feito a partir de uma planilha eletrônica elaborada no Microsoft Office Excel. Com o auxílio das tabelas dinâmicas, foram realizadas análises com os dados que compreenderam 4 partes:

A primeira parte apresentou uma síntese do mapeamento e das medições realizadas, período, mês e quantidade de votos, assim como as variáveis ambientais e antropométricas observadas. Os dados foram arranjados em gráficos e tabelas que representaram a frequência, os valores máximos, médios e mínimos para cada variável.

A segunda parte considerou os dados de sensação, aceitabilidade e preferência térmica através do cruzamento de dados realizado entre as respostas obtidas e as variáveis ambientais correspondentes, realizado

através do software Microsoft Excel, como auxílio das tabelas dinâmicas. Os resultados destas análises se apresentaram em gráficos de frequência, gráficos comparativos e tabelas expositivas.

A terceira parte da análise dos dados foi dedicada à aceitabilidade e preferência pela velocidade do ar. Os dados foram cruzados entre as respostas dadas para questões relativas ao tema e os valores de velocidade do ar encontrados durante o mapeamento. O item ainda apresenta a verificação das condições ambientais no momento em que foi feito o acionamento dos aparelhos de ar condicionado pelos usuários.

A quarta e última parte da análise e discussão dos dados, compreendeu as respostas relativas à preferência pela estratégia de climatização ambiental de cada usuário, problemas relacionados ao uso dos ventiladores de teto e análises das diferenças entre os usuários com exposição prévia ou não aos ambientes condicionados artificialmente.

3.8 TRATAMENTO DOS DADOS E OBTENÇÃO DO SET*

O tratamento estatístico utilizado neste trabalho, após a realização do experimento, visou principalmente efetivação das análises de representatividade da amostra e dos dados obtidos, além de análises comparativas que confrontem duas populações com variáveis qualitativas. Após a efetivação das análises de normalidade dos dados ambientais e subjetivos, verificou-se que a distribuição de frequência de erros amostrais não pôde ser considerada normal, não apresentando rigor estatístico, o que conseqüentemente fez com que se usassem apenas testes não paramétricos durante toda a análise dos dados. Os valores de velocidade do ar não foram analisados estatisticamente por tratar-se de dados com comportamento anárquico.

Após o tratamento estatístico dos dados, obteve-se a temperatura média radiante pela (Equação 2 e, finalmente com todas as variáveis reunidas (ambientais e antropométricas) calculou-se a partir do software da ASHRAE – WinComf, o índice SET (Standard Effective Temperature), utilizado nas análises de conforto e aceitabilidade térmica e da velocidade do ar. O índice SET, proposto pela ASHRAE 55-2204, é comumente utilizado nas análises com valores mais altos de velocidade, se adaptando melhor ao conceito de resfriamento do corpo através da circulação de ar. O SET foi utilizado para as análises deste trabalho por se tratar de um índice completo, que considera uma gama maior de variáveis ambientais e antropológicas. Entende-se como SET, (SET – Standard Effective Temperature), a temperatura de um ambiente uniforme imaginário, com taxa de umidade relativa de 50%, velocidade do ar

inferior a 0,1m/s, temperatura média radiante igual à temperatura do ar, onde um ocupante imaginário perde a mesma quantidade de calor que no ambiente real ao desenvolver um nível de atividade correspondente a 1,0 met, e está vestido com um clo de 0,6 (GAGGE et al., 1986).

$$t_{mr} = [(t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6} \cdot (t_g - t_a)]^{1/4} - 273 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

t_{mr} : Temperatura média radiante (°C);

t_g : Temperatura de globo (°C);

v_a : Velocidade do ar (°C);

t_a : Temperatura do ar (°C).

Durante a verificação do acionamento dos condicionadores de ar, utilizou-se uma média de temperatura operativa comum a todos os usuários no ambiente. Os valores de temperatura operativa foram calculados a partir da equação 3.

$$t_o = A \cdot t_a + (1 - A) \cdot t_{rm} (\text{°C}) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

t_o : temperatura operativa (°C);

t_a : temperatura do ar (°C);

t_{rm} : Temperatura media radiante (C°);

A : Constante em função da velocidade do ar.

Adotar: A = 0,5 para $v_a < 0,2$ m/s;

A = 0,6 para v_a entre 0,2 e 0,6m/s;

A = 0,7 para v_a acima de 0,6m/s.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme descrito anteriormente no método de trabalho, este capítulo apresenta os resultados analisados e discutidos após a efetivação dos experimentos. Primeiramente são apresentados os mapeamentos das salas de aula que resultaram em valores individuais de velocidade do ar utilizados para obtenção do índice SET e demais análises. Em seguida é apresentado um resumo com os dados obtidos nas medições junto aos usuários, que reuniram as caracterizações da população estudada e os dados ambientais. As 3 últimas análises apresentam os resultados referentes à sensação, aceitabilidade e preferência térmica dos usuários, em seguida a aceitabilidade e preferência da velocidade do ar e por último, os resultados referentes ao acionamento dos condicionadores de ar.

4.1 MAPEAMENTO DA VELOCIDADE DO AR NAS SALAS

O mapeamento da velocidade do ar nas salas de aula foi realizado previamente à efetivação dos experimentos. Com os valores de velocidade do ar encontrados para cada ponto com a presença dos alunos (valores estes utilizados para a realização das análises de dados), definiram-se mapas ilustrativos concebidos de maneira que as cores mais escuras representem os pontos onde se obteve valores mais altos de velocidade, e que decrescem na medida em que as cores se tornam mais claras. Ao observar a Figura 4.1, nota-se que existem três pontos na sala 02 localizados logo abaixo dos ventiladores de teto e que concentram valores mais altos de velocidade, dispersando na medida em que se afastam dos mesmos. As figuras seguintes representam estes mapeamentos realizados na sala de aula 02 com a presença de usuários e ventiladores ligados (Figura 4.1) e, com a presença de usuários, e ventiladores e aparelhos de ar condicionado ligados juntos (Figura 4.2)

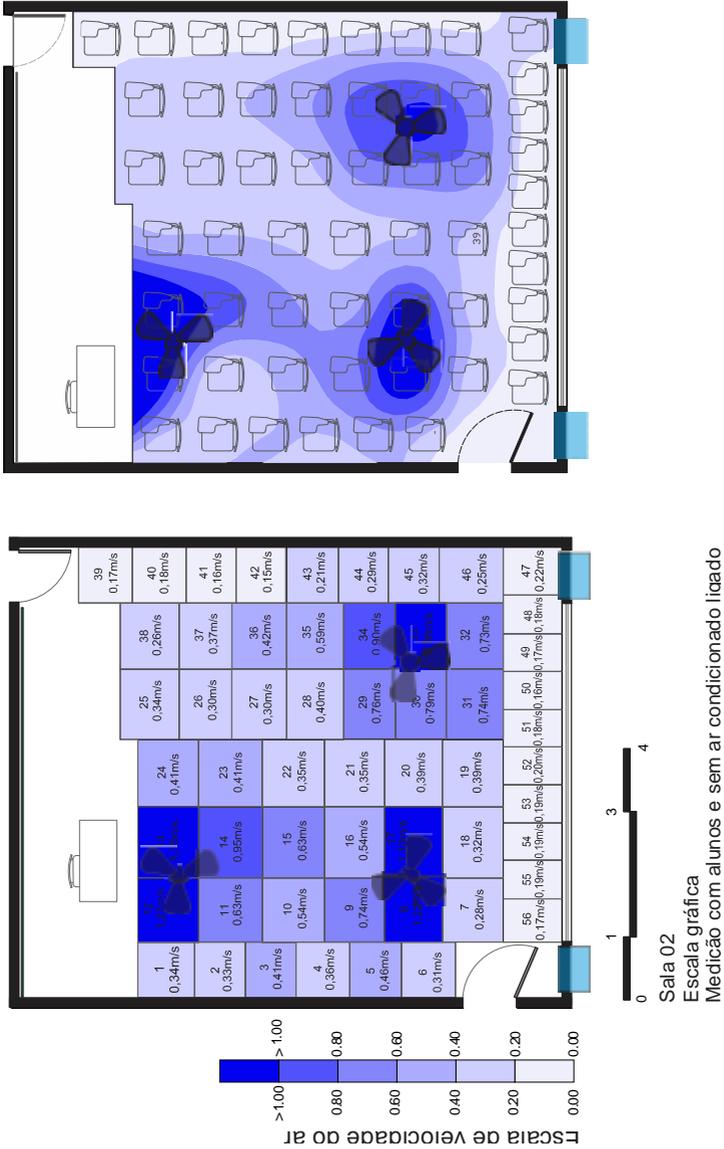


Figura 4.1 – Mapeamento da velocidade do ar na sala 02 com os ventiladores ligados e sem o uso de aparelhos de ar condicionado. À esquerda, os valores de velocidade para cada ponto; À direita, distribuição em curva dos valores de velocidade do ar e layout interno da sala.

dos valores encontrados neste ambiente foi de 0,46m/s sem o ar condicionado ligado (Figura 4.3), e de 0,51m/s com o ar condicionado ligado (Figura 4.4).

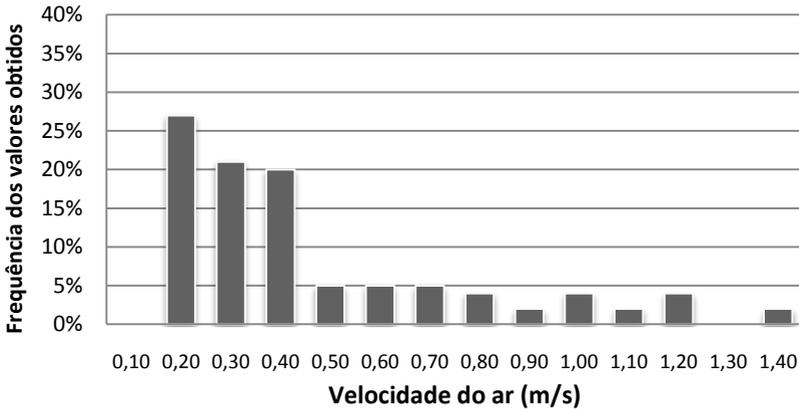


Figura 4.3 – Frequência dos valores de velocidade do ar encontrados na sala 02 durante a medição realizada só com o uso dos ventiladores de teto.

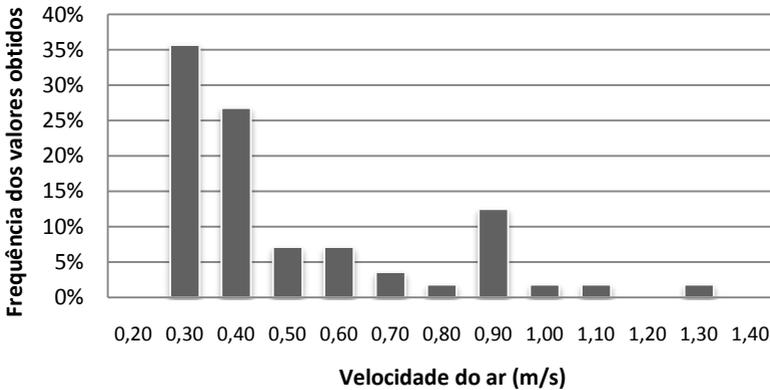


Figura 4.4 – Frequência dos valores de velocidade do ar encontrados na sala 02 durante a medição realizada com o uso dos ventiladores de teto e ar condicionado.

Confrontando as duas situações, é possível constatar que a velocidade do ar tende a um comportamento diferenciado quando os ventiladores e aparelhos de ar condicionado estão ligados, deixando de registrar valores inferiores a 0,30m/s e superiores a 1,30m/s. A mesma condição pôde ser examinada na sala de aula 03, onde os valores variaram

de 0,10m/s a 1,00m/s sem o uso do ar condicionado, e 0,10m/s a 0,60m/s com o uso do ar condicionado (Figura 4.5 e Figura 4.6).

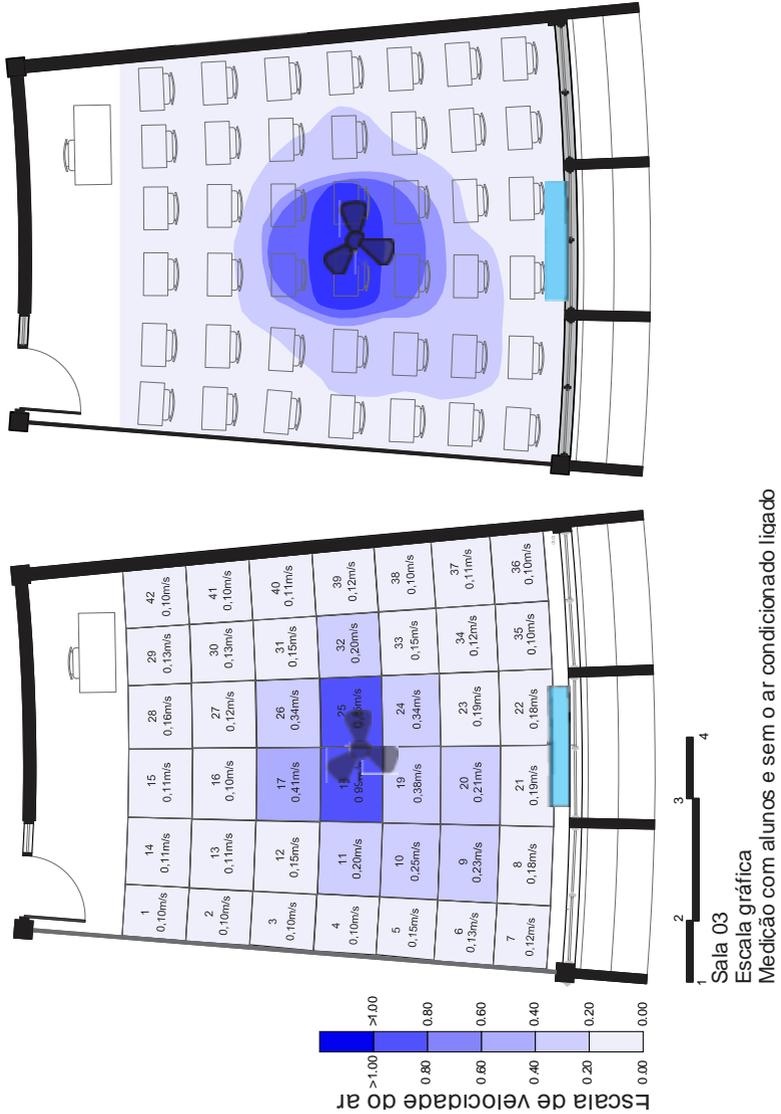


Figura 4.5 - Mapeamento da velocidade do ar na sala 03 com os ventiladores ligados e sem uso do ar condicionado. À esquerda, valores de velocidade para cada ponto; À direita, distribuição em curvas da velocidade do ar e layout interno da sala.

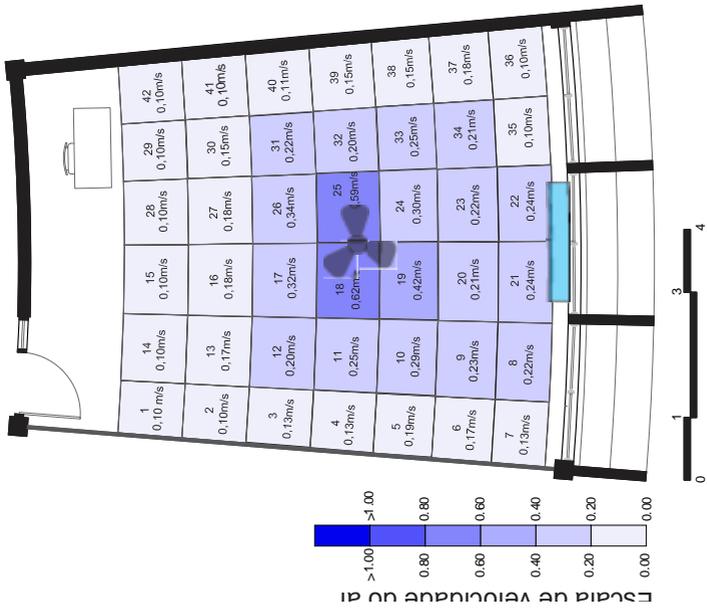
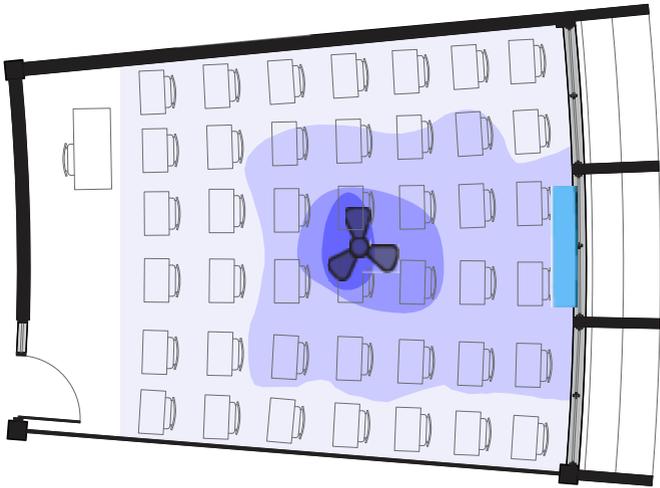


Figura 4.6 - Mapeamento da velocidade do ar na sala 03 com os ventiladores ligados e com o uso do ar condicionado. À esquerda, valores de velocidade para cada ponto; À direita, distribuição em curvas da velocidade do ar e layout interno da sala.

Sala 03
Escala gráfica
Medição com alunos e com o ar condicionado ligado

Ainda na sala de aula 03, a concentração de valores mais altos ocorreu em apenas um ponto central próximo ao ventilador. A velocidade média encontrada para este ambiente foi de 0,20m/s sem o uso do ar condicionado, e de 0,21m/s com o uso do ar condicionado, conforme a distribuição das frequências de velocidades nas Figura 4.7 e Figura 4.8.

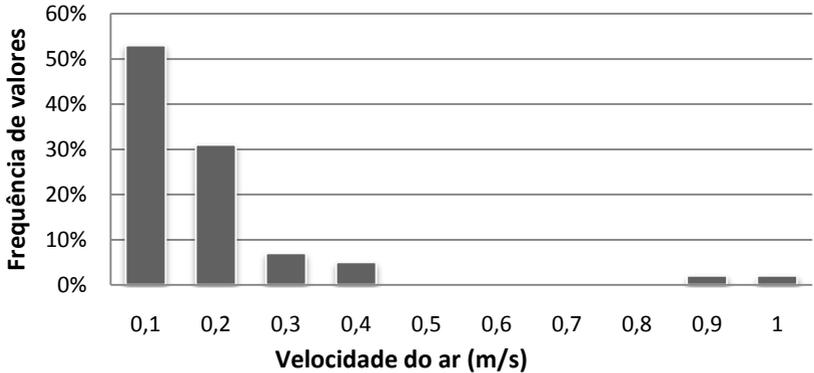


Figura 4.7 – Frequência dos valores de velocidade do ar encontrados na sala 03 durante o mapeamento realizado com os ventiladores de teto ligados.

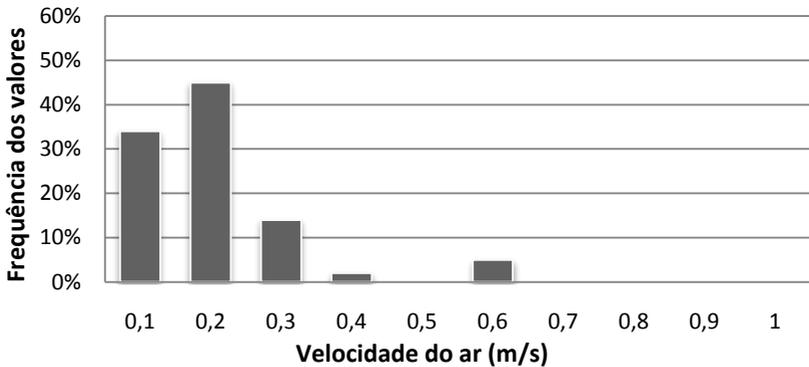


Figura 4.8 - Frequência dos valores de velocidade do ar encontrados na sala 03 durante o mapeamento realizado com os ventiladores de teto e ar condicionado ligados.

Após a constatação da presença de valores de velocidade do ar inferiores na sala 03 quando comparados aos valores de velocidade do ar da sala 02, as medições de conforto térmico passaram a realizar-se prioritariamente na sala 02. Desta maneira, as medições se deram sempre com os valores mais altos de velocidade do ar.

4.2 RESUMO DOS DADOS OBTIDOS NO EXPERIMENTO

O experimento de conforto reuniu um conjunto de 2.507 questionários, abrangendo alunos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo, Física, Matemática, Engenharia Ambiental e Engenharia de Produção Sanitária. As medições foram realizadas nos meses de Março, Abril, Maio e Novembro no período da manhã, tarde e noite, conforme sintetiza a Tabela 4.1. As medições foram realizadas de acordo com a disponibilidade das aulas e dos professores, sendo que a maior frequência de medições ocorreu durante o mês de março (Figura 4.9).

Tabela 4.1 – Quantidade de dados registrados durante todo o experimento.

Medição	Data	Turno	Sala	Questionários
1	15/03/2010	Manhã	02	81
2	16/03/2010	Tarde	02	128
3	17/03/2010	Manhã	03	50
4	17/03/2010	Tarde	03	61
5	17/03/2010	Noite	03	114
6	18/03/2010	Tarde	03	35
7	24/03/2010	Tarde	03	102
8	29/03/2010	Manhã	02	131
9	29/03/2010	Tarde	03	60
10	30/03/2010	Manhã	02	110
11	30/03/2010	Tarde	02	155
12	12/04/2010	Manhã	02	119
13	20/04/2010	Manhã	02	92
14	21/04/2010	Tarde	02	108
15	26/04/2010	Manhã	02	96
16	27/04/2010	Manhã	02	94
17	28/04/2010	Tarde	02	117
18	30/04/2010	Manhã	02	135
19	05/05/2010	Tarde	02	116
20	14/05/2010	Manhã	02	89
21	20/05/2010	Tarde	03	59

22	17/11/2010	Manhã	02	90
23	18/11/2010	Tarde	02	75
24	19/11/2010	Manhã	02	110
25	23/11/2010	Manhã	02	180
Total				2507
Total medições sala 02			18	
Total medições sala 03			7	
Dados excluídos				215
Total de dados registrados				2292

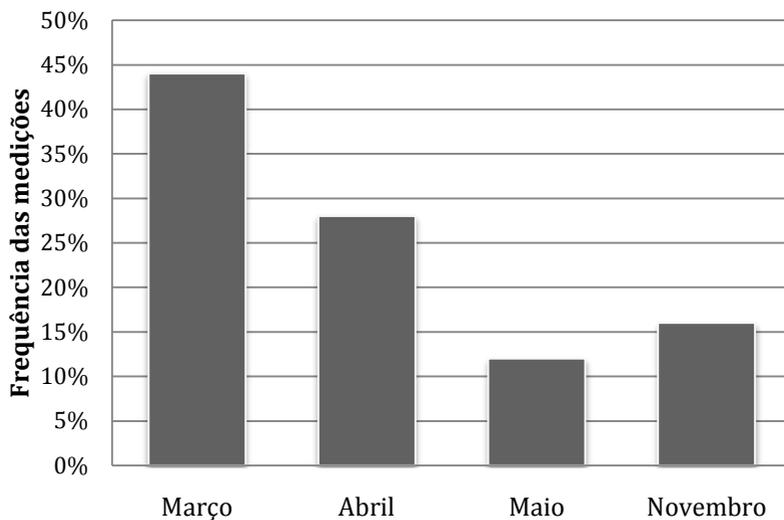


Figura 4.9 – Frequência das medições de conforto realizadas durante o trabalho de campo.

4.2.1 Caracterização dos usuários envolvidos nos experimentos

Durante a realização do experimento de campo nas salas descritas, foram entrevistados 544 estudantes, dentre eles 302 do sexo masculino e 242 do sexo feminino (Figura 4.10). Com relação à idade dos entrevistados, houve uma variação de 17 a 47 anos, enquanto que o peso oscilou de 39 a 116 quilos e a altura de 1,50 a 1,95 metros (Tabela 4.2).

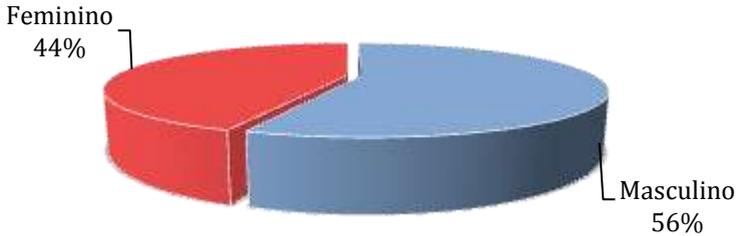


Figura 4.10 – Frequência de usuários masculinos e femininos durante o experimento.

Tabela 4.2 – Caracterização da população estudada.

Característica	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Idade (anos)	17	47	21,2	3,4
Peso (Kg)	39	116	65,7	12,4
Altura (m)	1,50	1,95	1,70	0,1

Para os índices de vestimenta e isolamento térmico (clo) dos entrevistados, houve variação de 0,22 a 0,89 (clo), e para os valores de atividade metabólica desenvolvidos durante as medições, a variação foi de 58 a 70 W/m^2 .

Ao avaliar a frequência com que os usuários ocupavam as carteiras dentro das salas durante o experimento, verificou-se que as maiores ocupações nas carteiras ocorreram nas regiões centralizadas e ao fundo. As menores taxas de ocupação se deram nas carteiras localizadas nas primeiras filas. Observando a Figura 4.11, é possível concluir que as carteiras localizadas abaixo dos ventiladores de teto registraram frequência de 1% e 4%. Os valores de frequência se mostraram diferentes entre uma sala e outra, podendo-se observar que os alunos costumam

ocupar carteiras próximas à zona de ventilação (portas e janelas) e carteiras localizadas ao fundo das salas.

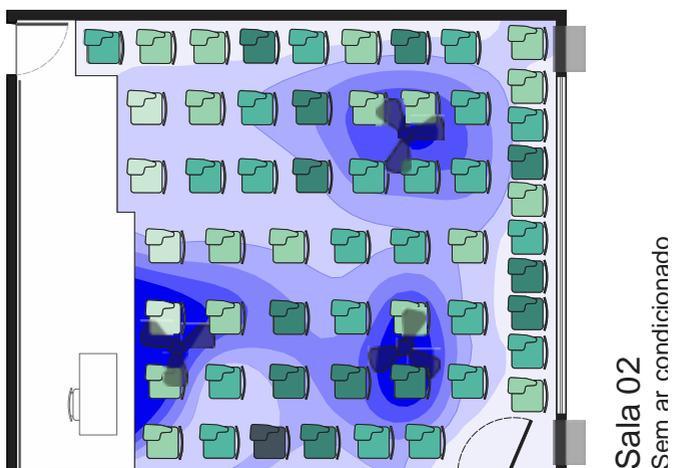
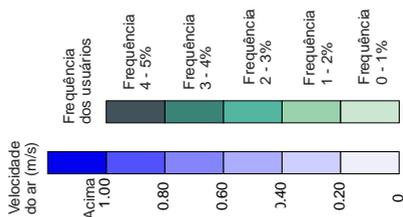
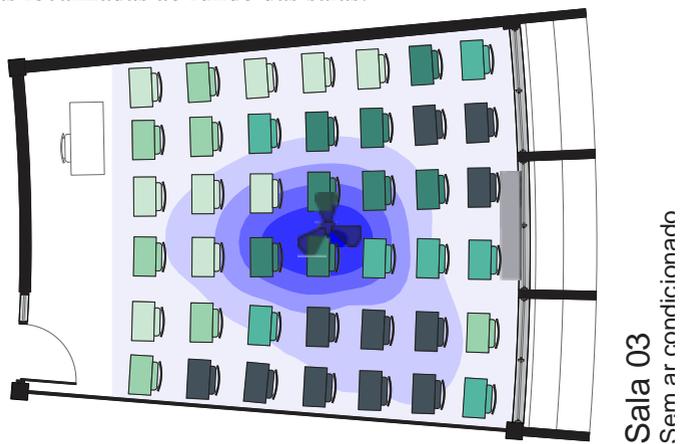


Figura 4.11 - Frequência da ocupação nas carteiras dos usuários dentro das salas de aula.

4.2.2 Caracterização das variáveis ambientais

A partir dos dados registrados pela estação microclimática SENSU, obtiveram-se as caracterizações qualitativas das condições climáticas de ambas as salas de aula. Os valores obtidos de temperatura do ar foram comparados mês a mês, e distribuídos em intervalos de temperatura (Bin) em forma de frequência como se pode observar na Figura 4.12. Ao analisar a figura, observa-se que os valores de temperatura durante todo o experimento concentraram-se nas faixas de 25°C a 27°C, sendo que a temperatura mínima registrada foi de aproximadamente 23°C, enquanto a máxima não ultrapassou os 29°C.

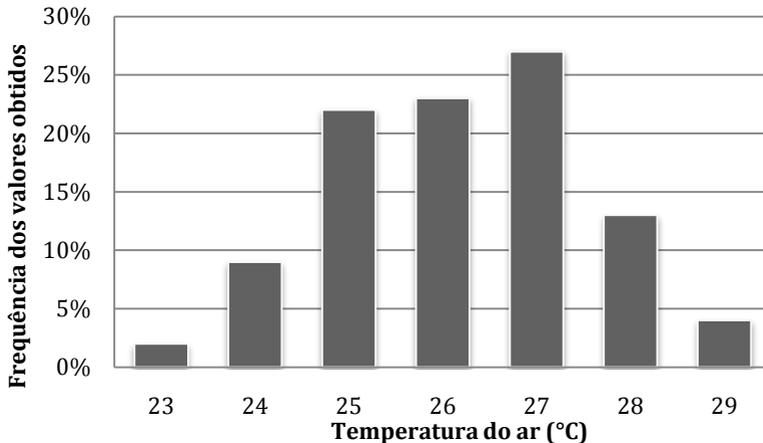


Figura 4.12 – Frequência dos valores de temperatura observados durante o experimento.

Dentro da amostra de valores de temperatura obtidos mês a mês, distribuídos novamente em intervalos (Bin) e empilhados de maneira que a proporção de cada série fosse enfatizada, observou-se que valores próximos a 23°C ocorreram durante os meses de março, abril e maio, e valores medianos próximos a 25°C puderam ser observados durante todo o experimento. Os valores máximos próximos a 29°C ocorreram somente durante o mês de maio (Figura 4.13).

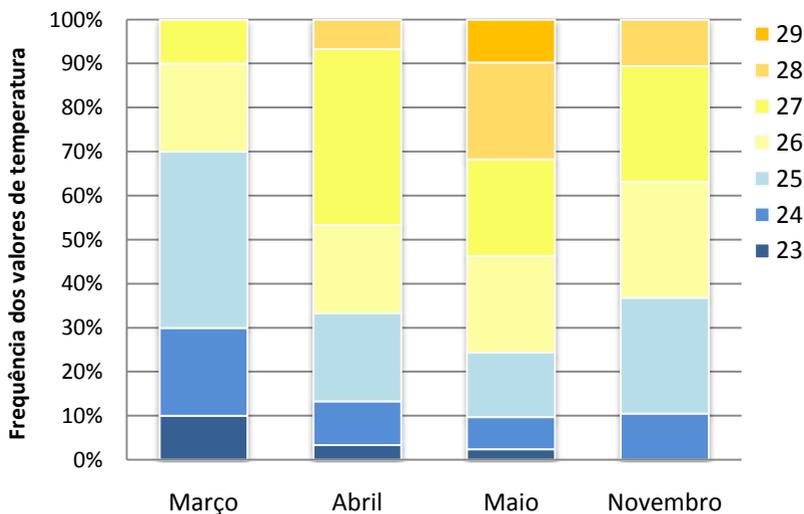


Figura 4.13 – Valores de temperatura do ar encontrados mês a mês.

A temperatura de globo apresentou valores dentro de um intervalo de 22°C a 28°C, resultando em um valor médio de 26°C. A umidade relativa do ar, obtida diretamente através da estação microclimática SENSU, apresentou valores que variaram de 49% a 89%, com um valor médio resultante de 68%, apresentados mês a mês na Figura 4.14.

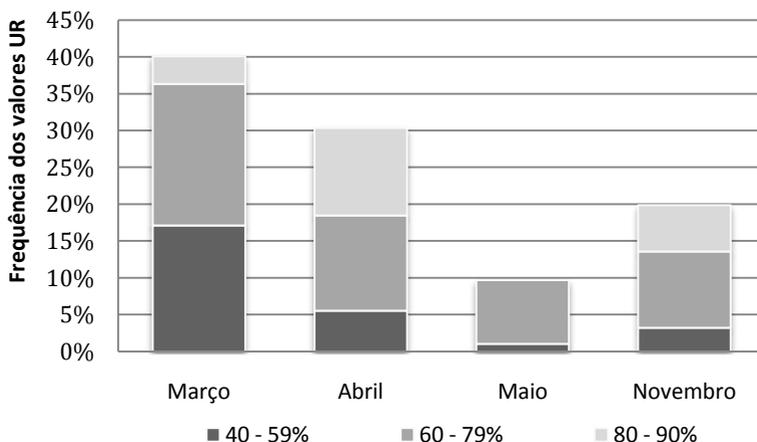


Figura 4.14 – Frequência dos valores de umidade relativas encontrados mês a mês.

Para a temperatura média radiante foram encontrados valores de 20°C a 28°C, sendo que o valor médio encontrado para esta variável foi de 25°C. Estes valores podem ser observados na Figura 4.15.

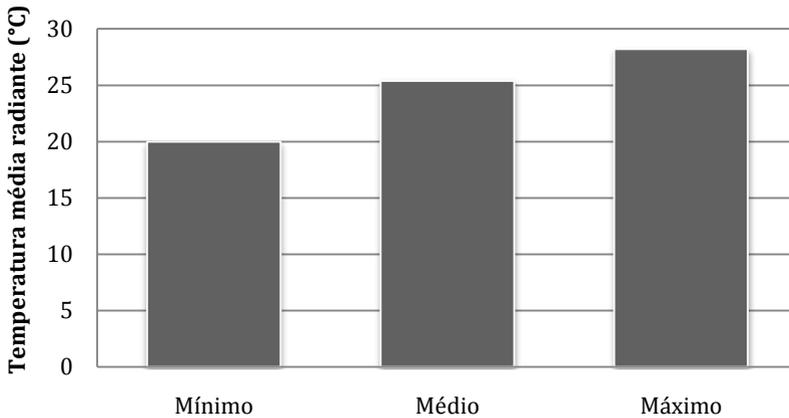


Figura 4.15 – Valores mínimos, médio e máximos de temperatura média radiante observados durante o experimento.

4.3 SENSACÃO, ACEITABILIDADE E PREFERÊNCIA TÉRMICA.

A Figura 4.16 apresenta a distribuição em forma de frequência das sensações térmicas dos usuários, observando-se que durante todo o experimento foram encontradas em sua maioria respostas de usuários “neutros” – 50%, seguidos de “levemente com calor” – 25%, “levemente com frio” – 13%, “com calor” – 8%, “com frio” – 2%, e “com muito calor” – 2%. Analisando a mesma figura, conclui-se que a neutralidade térmica em Florianópolis para as condições deste experimento, ocorreu em maior número a um SET médio de 22,4°C.

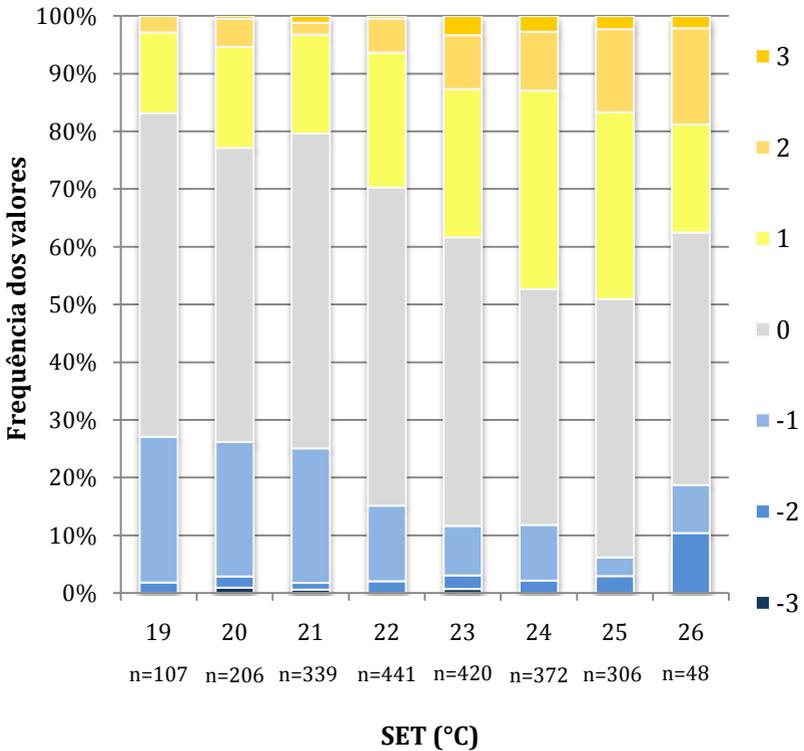


Figura 4.16 – Sensação térmica dos usuários de acordo com os valores de SET (°C).

Ao analisar separadamente votos masculinos e femininos, verificou-se que a maioria das respostas que relataram “com muito frio” e “com frio” ocorreram por parte de usuários do sexo feminino (Figura 4.17). Estes resultados condizem com as pesquisas realizadas por Indraganti e Rao (2010) que apontou as mulheres como “confortáveis” a temperaturas mais altas, enquanto homens se sentem “desconfortáveis” expostos às mesmas condições. Resultados similares também foram encontrados por Choi *et al.* (2010) e indicam que nos dias mais amenos, usuários do sexo feminino demonstram menor satisfação térmica do que usuários do sexo masculino.

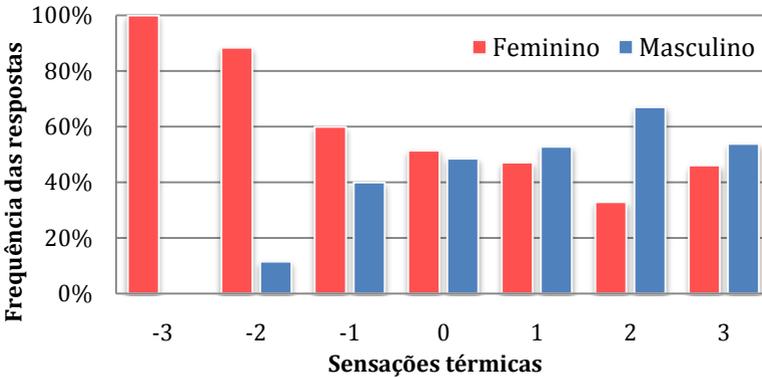


Figura 4.17 Diferenças entre as sensações térmicas relatadas entre usuários do sexo masculino e feminino.

Tal situação levou à análise de como estes usuários estariam vestidos, para que fosse possível verificar se a vestimenta influenciou ou não a sensação térmica dos usuários masculinos e femininos. Analisando-se as Figura 4.18 e Figura 4.19, que compararam os índices de *clo* masculinos e femininos de acordo com o SET (°C), descartou-se a hipótese dos usuários do sexo feminino estarem com índices de *clo* inferiores aos índices do sexo masculino e, por isso sentirem-se mais comumente com frio. Ao que se nota usuários do sexo feminino se apresentam constantemente com índices semelhantes aos índices do sexo masculino, sendo que em algumas situações os índices foram até superiores.

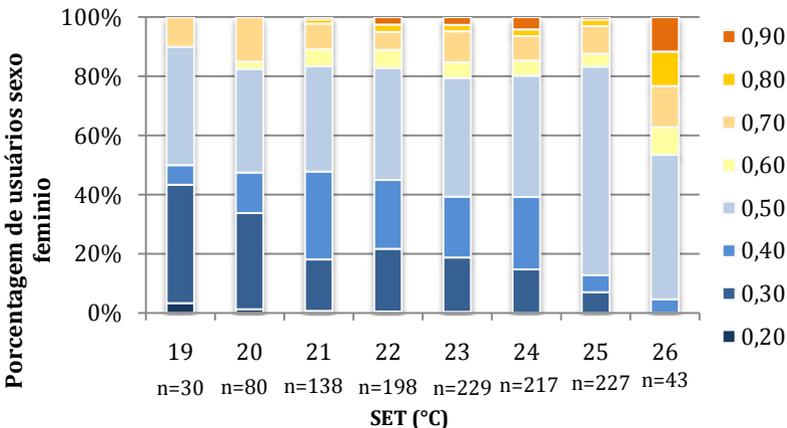


Figura 4.18 – Índice *clo* de usuários do sexo feminino de acordo com o SET (°C).

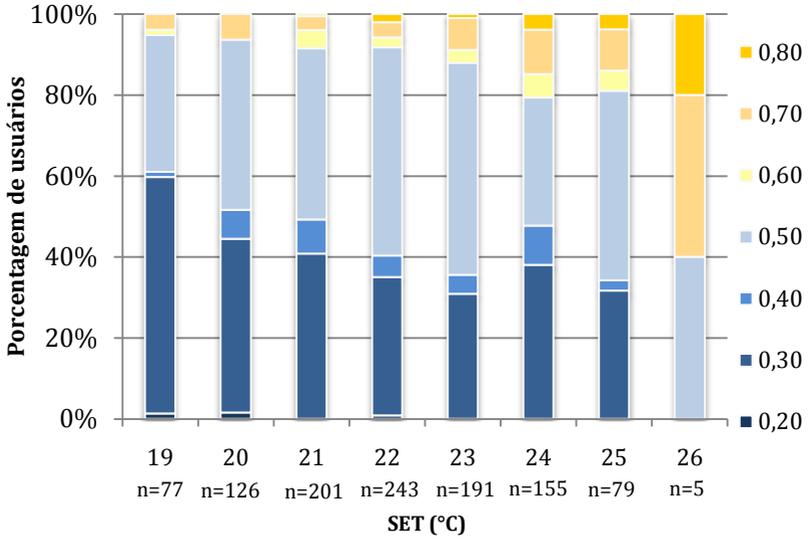


Figura 4.19 – Índice *clo* de usuários do sexo masculino de acordo com o SET (°C).

Questionados a respeito de como os usuários prefeririam estar se sentindo nos ambientes estudados, os mesmos indicaram maior preferência por não mudarem a condição térmica (53%), seguidos de 37% que gostariam de estar mais resfriados e somente 10% que gostariam de se sentir mais aquecidos (Figura 4.20). Ao cruzarem-se os votos de preferência térmica com os valores de SET observou-se que a partir dos 21°C a demanda por “mais resfriado” começou a aumentar progressivamente (Figura 4.21).

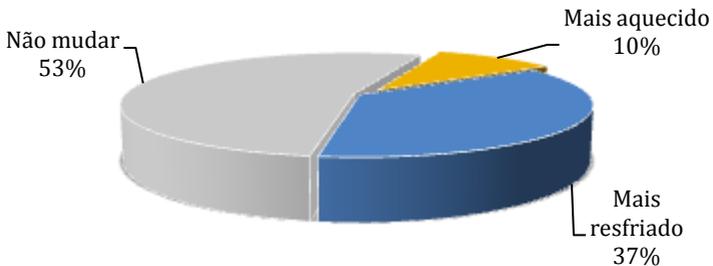


Figura 4.20 – Preferência térmica dos usuários durante o experimento.

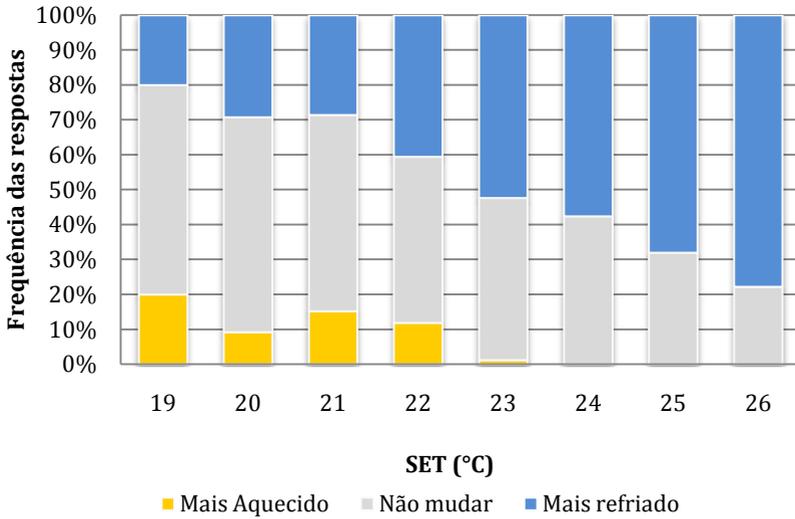


Figura 4.21 – Preferência térmica dos usuários com relação ao SET (°C).

Os usuários também foram questionados a respeito da aceitabilidade térmica através da pergunta “para você, este ambiente térmico é aceitável?”. A Figura 4.22 apresenta a porcentagem de usuários que classificaram o ambiente como “aceitável” (86%) e, “inaceitável” (14%). Analisando a Figura 4.23, que representa os votos de aceitabilidade térmica associados ao SET, é possível verificar que a inaceitabilidade ocorreu em maior proporção devido às temperaturas mais altas e ao calor do que às baixas temperaturas e devido ao frio.

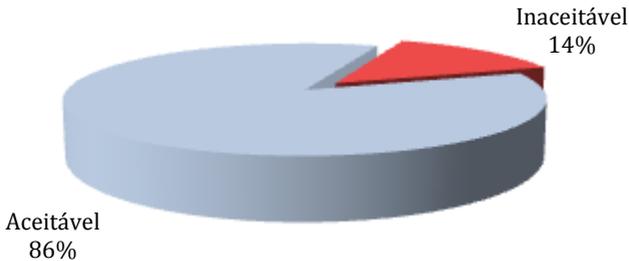


Figura 4.22 – Aceitabilidade térmica dos usuários durante o experimento.

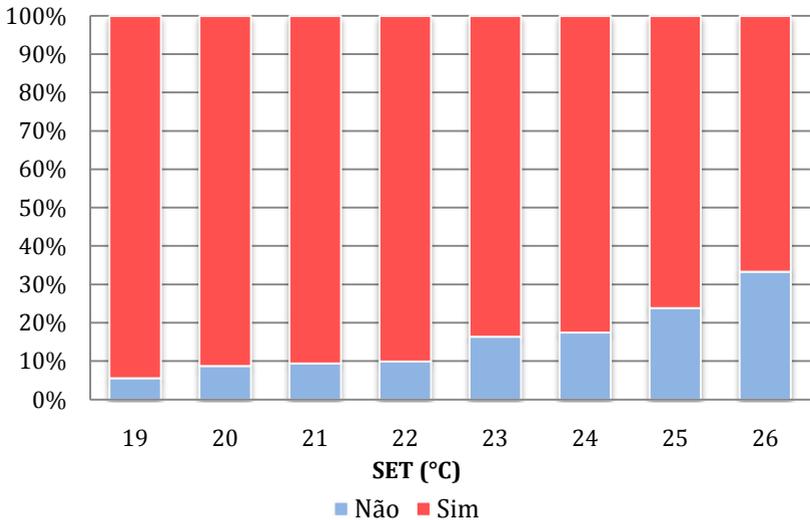


Figura 4.23 – Aceitabilidade térmica dos usuários com relação ao SET (°C).

A Tabela 4.3 resume os dados de aceitabilidade térmica quando cruzados com os dados de preferência pela velocidade do ar. Analisando os resultados, verificou-se que a maior parte dos votos de inaceitabilidade térmica relacionou-se com a preferência por “mais velocidade do ar”, o que confirmou neste experimento o pressuposto de que a inaceitabilidade térmica ocorreu em maior proporção pelo calor, além da baixa velocidade do ar.

Tabela 4.3 – Aceitabilidade da velocidade do ar relacionada à aceitabilidade térmica.

Aceitabilidade Velocidade do ar	Aceitabilidade Térmica	
	Aceitável	Inaceitável
Menos Velocidade	82%	18%
Não mudar	97%	3%
Mais velocidade	68%	32%

Ao realizar uma análise de conforto a partir da pergunta direcionada aos usuários: “quão confortável você classifica a sala de aula neste momento?” observou-se que até mesmo durante os valores mais baixos de SET, a incidência de usuários que se sentem confortáveis

supera a percentagem de usuários que se consideram desconfortáveis (Figura 4.24). Assim, pode-se afirmar que tanto a inaceitabilidade térmica quanto o desconforto térmico ocorreram na maioria das vezes devido à sensação de calor. Estes resultados podem ser observados na Figura 4.25, que sintetiza separadamente os votos relativos à sensação térmica dos usuários.

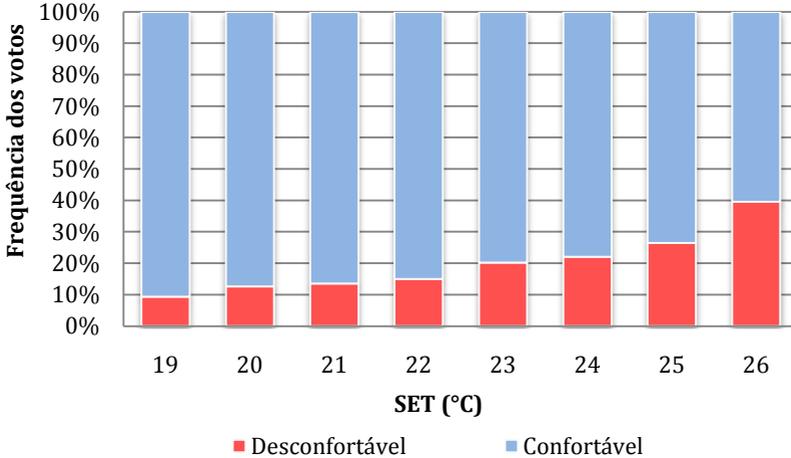


Figura 4.24 – Respostas relativas à conforto térmico quando relacionadas ao SET (°C).

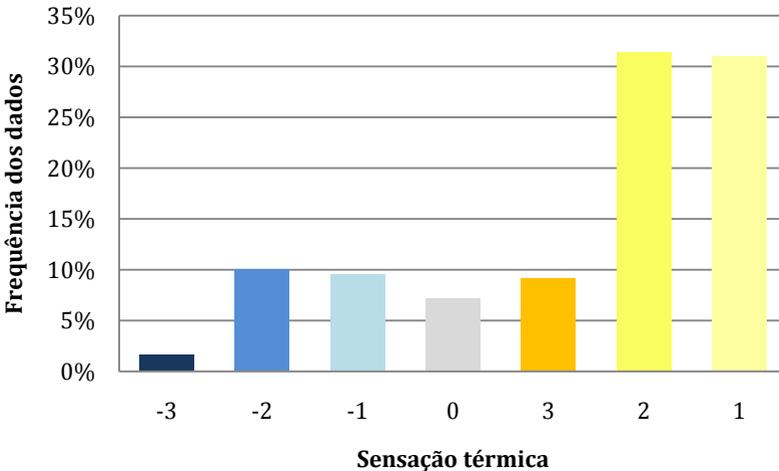


Figura 4.25 – Sensação térmica dos usuários que se consideraram "desconfortáveis" termicamente.

Avaliando ainda os votos destes usuários que se consideraram desconfortáveis, constatou-se que a insatisfação ocorreu em sua maioria devido à baixa velocidade do ar. As maiores concentrações se deram nas respostas de “inaceitável, por pouca velocidade do ar” e “aceitável, por pouca velocidade do ar” como apresenta a Figura 4.26. Ao analisarem-se os usuários que classificaram a velocidade do ar como alta, é interessante observar a diferença entre o SET médio e a velocidade do ar média entre os votos aceitáveis e inaceitáveis. Dentre os usuários que classificaram a movimentação do ar como “aceitável, por muita velocidade”, observou-se um SET médio inferior ao SET de dos votos “inaceitável, por muita velocidade”. O mesmo ocorreu com a velocidade do ar média com um valor mais alto dentre os aceitáveis, comparados ao valor inferior dos inaceitáveis. Tal constatação pode estar relacionada mais ao desconforto causado pela circulação do ar e superfície da pele de usuários que não toleram a ventilação como estratégia passiva de climatização, do que propriamente aos valores altos de velocidade do ar. Esses votos corresponderam a aproximadamente 3% do total de votos obtidos no experimento.

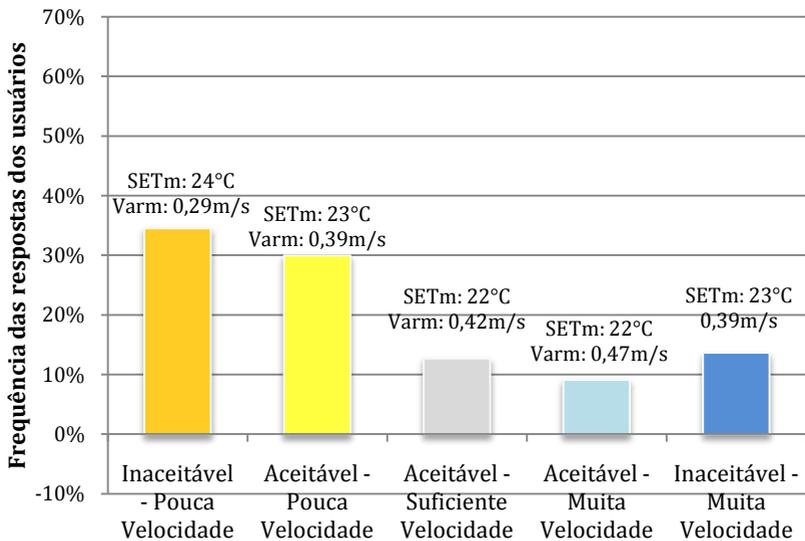


Figura 4.26 – Frequência das respostas relativas à aceitabilidade da velocidade do ar de usuários que se classificaram como desconfortáveis.

Dentre os usuários que se disseram confortáveis, verificou-se de maneira semelhante à situação anterior, que a inaceitabilidade ocorreu em maior porcentagem devido à baixa velocidade do ar (Figura 4.27). A partir deste resultado, pode-se afirmar que diante das condições deste experimento, a maior porcentagem de usuários que se disseram confortáveis termicamente estavam expostos a um SET médio de 22°C e velocidade do ar de 0,45 m/s. No entanto, a 22°C e com velocidade média 0,52 m/s, os usuários também demonstraram boa aceitação. Desta vez, a inaceitabilidade pela alta velocidade do ar ocorreu a um SET inferior ao de SET de conforto descrito anteriormente (22°C) com valores médios de velocidade próximos a 0,80m/s, o que, no entanto, não fez com que usuários se classificassem como desconfortáveis.

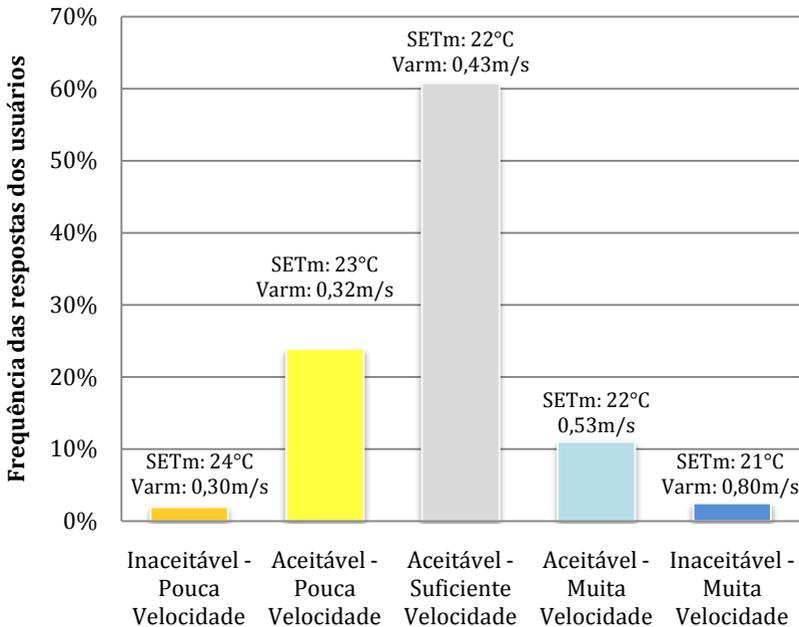


Figura 4.27 – Frequência das respostas relativas à aceitabilidade da velocidade do ar de usuários que se classificaram como confortáveis.

4.4 ACEITABILIDADE E PREFERÊNCIA DA VELOCIDADE DO AR

Com relação à velocidade do ar nas salas de aula, os entrevistados puderam optar pela classificação “aceitável” ou “inaceitável”, como visto anteriormente. Dentro do agrupamento “aceitável” estavam a “pouca velocidade do ar”, “suficiente velocidade do ar” e “muita velocidade do ar”; dentro do agrupamento “inaceitável” estavam a “pouca velocidade do ar” e “muita velocidade do ar”. Para facilitar as análises, os valores de velocidade encontrados no mapeamento foram intercalados em faixas de velocidade conforme apresenta a Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Intervalos de velocidade utilizados durante a análise dos dados.

Faixas de velocidade do ar adotadas (bin)	
0,10	$0,05 \leq v \leq 0,20$
0,30	$0,21 \leq v \leq 0,40$
0,50	$0,41 \leq v \leq 0,60$
0,70	$0,61 \leq v \leq 0,80$
0,90	$0,81 \leq v \leq 1,00$
> 1,00	Valores superiores a 1,01m/s

A Figura 4.28 apresenta os resultados de aceitabilidade da velocidade do ar obtidos durante as medições e associados às faixas de velocidade previamente estipuladas. Analisando estes dados é possível constatar que em todas as situações (intervalos de velocidade), os votos se encontraram dentro do agrupamento de aceitabilidade, o que correspondeu a aproximadamente 88% das respostas obtidas.

Com relação aos votos fixados no agrupamento de inaceitabilidade, a maior percentagem ocorreu devido a baixa velocidade do ar (8%) contra 4% de inaceitabilidade devido a alta velocidade do ar.

Ao analisar os votos de aceitabilidade com relação às baixas velocidades do ar, verificou-se que aproximadamente 34% destes votos se localizavam na faixa de 0,10m/s, decrescendo para 27% na faixa de 0,30m/s, 21% na faixa de 0,50m/s, 17% na faixa 0,70m/s, 9% para a faixa 0,90m/s e 8% para os valores superiores a 1,00m/s.

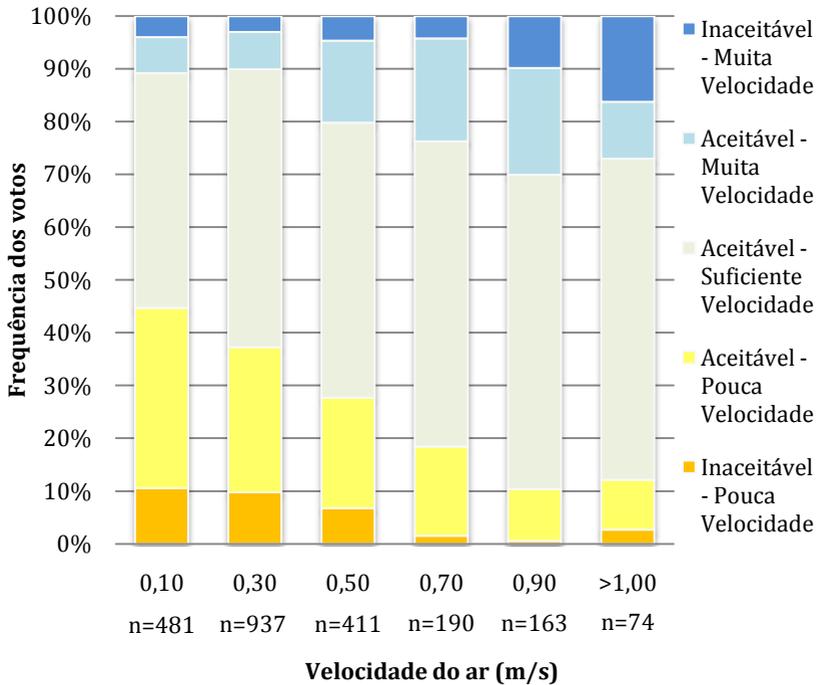


Figura 4.28 – Aceitabilidade da velocidade do ar associada aos valores de velocidade do ar (m/s).

A Figura 4.29 sumariza os dados de aceitabilidade da velocidade do ar dos usuários quando relacionados ao SET ($^{\circ}\text{C}$). De uma maneira geral, observou-se que os votos relativos à inaceitabilidade em função da baixa velocidade do ar, ocorreram até mesmo durante as temperaturas de SET abaixo de 20°C , onde anteriormente os usuários se classificaram “levemente com frio” e “com frio” (Figura 4.16). Os votos de inaceitabilidade devido à excessiva velocidade do ar ocorreram em maior frequência com SET abaixo de 22°C .

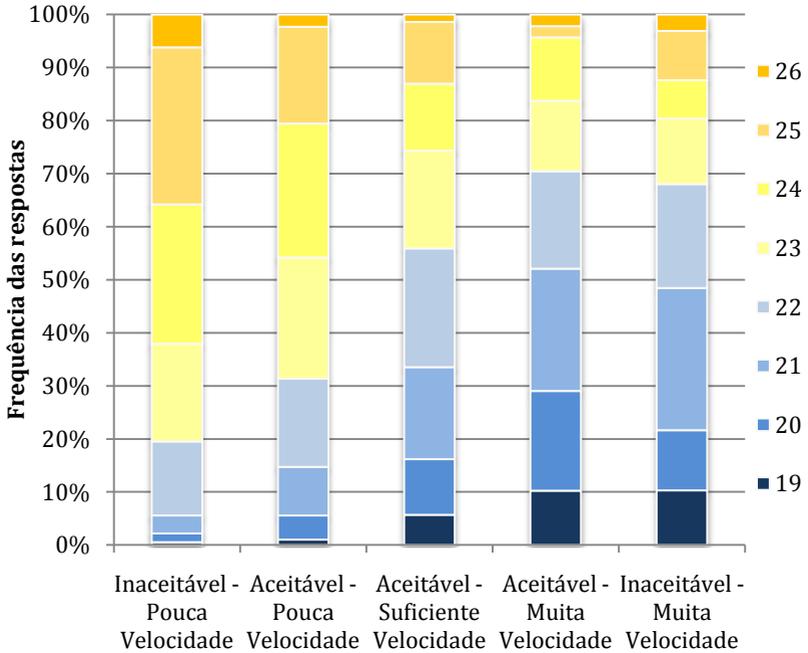


Figura 4.29 – Aceitabilidade da velocidade do ar associada ao SET (°C).

Os usuários também foram solicitados a posicionarem-se de acordo com a sua preferência pelo movimento do ar. Analisando estas respostas, verificou-se que aproximadamente 52% dos usuários votaram por não mudarem o valor de velocidade do ar, seguidos de 30% que queriam mais velocidade do ar e 17% que gostariam de menos velocidade do ar. Dentre o intervalo de 0,10 a 0,50m/s, observou-se uma maior porcentagem de usuários que votaram por “mais velocidade do ar”, e que chega a 18% na faixa de 0,70m/s, 10% na faixa de 0,90m/s e 16% para valores superiores a 1,00m/s (Figura 4.30). Quando estes dados são associados ao SET, constata-se que mesmo a temperaturas mais baixas, uma pequena amostra de usuários ainda prefere aumentar o valor da velocidade do ar. (Figura 4.31).

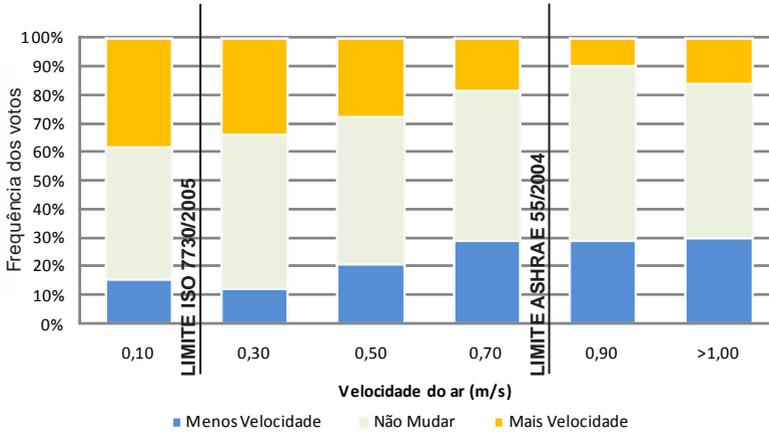


Figura 4.30 – Preferência dos usuários com relação à velocidade do ar de acordo com as faixas de velocidade do ar estipuladas (bin).

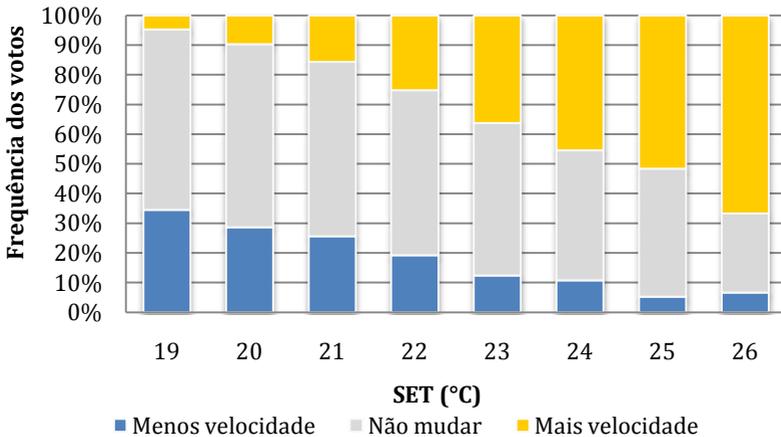


Figura 4.31 – Preferência dos usuários com relação à velocidade do ar de acordo com os valores de SET (°C).

Os dados de preferência relativos à velocidade do ar foram cruzados com os dados relativos à sensação térmica dos usuários (Figura 4.32). A partir daí foi possível observar que usuários que votaram por “mais velocidade do ar” estavam relacionados aos usuários que se sentiram “com muito calor”, “com calor” e “levemente com calor”. O contrário ocorreu quando a escala de sensações indicou “levemente com frio”, “com frio” e “com muito frio”. No entanto, entre os usuários que se

disseram “neutros”, observa-se que a porcentagem de votos por “mais velocidade do ar” é pouco superior à porcentagem de votos por “menos velocidade do ar”.

A mesma situação pode ser observada ao cruzarem-se dados de preferência pelo movimento do ar com os dados de preferência térmica (Tabela 4.5). Mesmo usuários que desejam estar mais aquecidos, optam por valores maiores de velocidade ou até mesmo por não mudarem o valor atual.

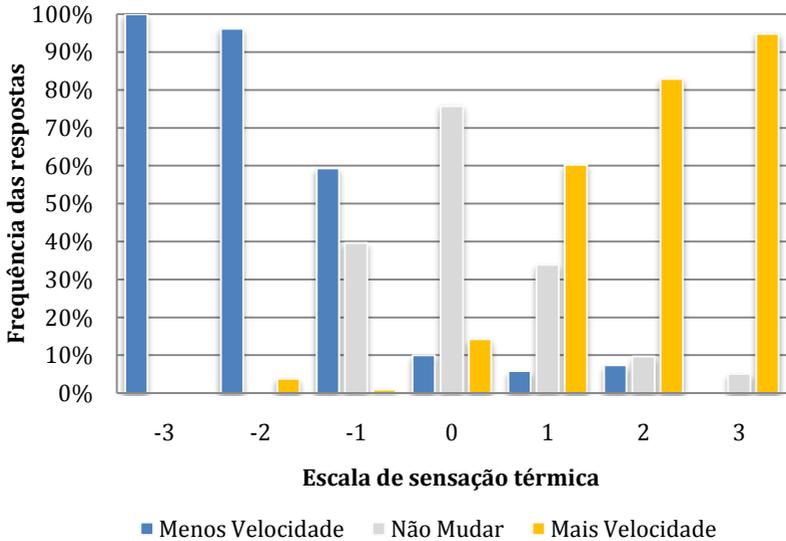


Figura 4.32 – Preferência pela velocidade do ar associada à sensação térmica dos usuários durante o experimento.

Tabela 4.5 – Preferência térmica associada à preferência pela velocidade do ar.

Preferência térmica	Preferência velocidade do ar		
	Mais velocidade	Não mudar	Menos velocidade
Mais aquecido	4%	32%	64%
Não mudar	11%	74%	15%
Mais refrescado	60%	36%	4%

Somando-se a estas análises, a Figura 4.33 apresenta a associação entre a aceitabilidade do ambiente térmico e a aceitabilidade da velocidade do ar. Avaliando estes dados encontrados, conclui-se que a inaceitabilidade ocorre em maior percentagem nas situações onde a velocidade do ar é considerada baixa (inaceitável por pouca velocidade do ar, e aceitável por pouca velocidade do ar).

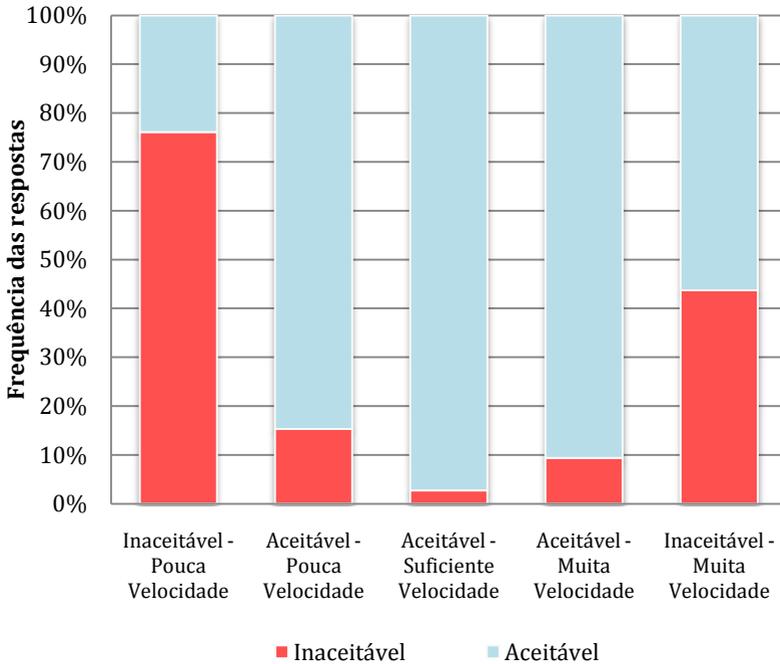


Figura 4.33 – Aceitabilidade térmica dos usuários associada aos votos de aceitabilidade da velocidade do ar.

Estes dados de inaceitabilidade térmica foram analisados separadamente e associados ao SET (°C) junto com a aceitabilidade da velocidade do ar. Ao analisar a Figura 4.34, observou-se que a inaceitabilidade pela baixa velocidade do ar ocorreu em maior percentagem a partir de 22°C, enquanto que a inaceitabilidade pela excessiva velocidade do ar ocorreu com maior frequência a temperaturas abaixo de 23°C.

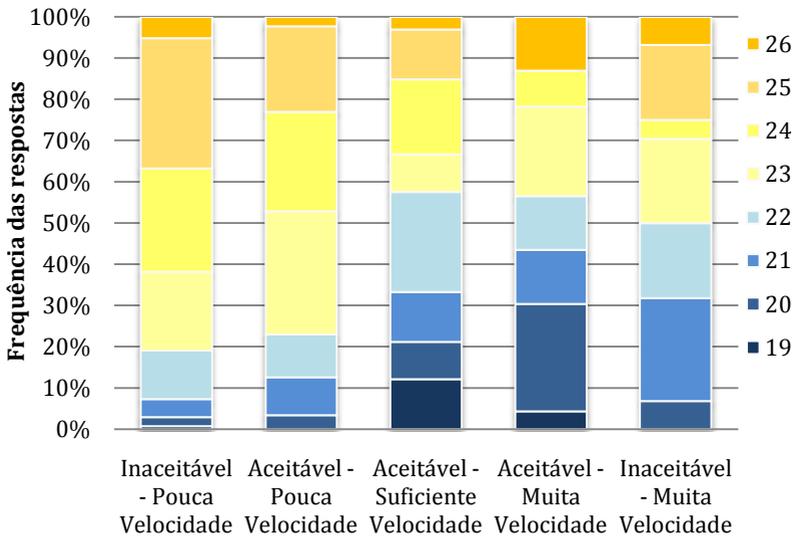


Figura 4.34 – Aceitabilidade da velocidade do ar associada ao SET (°C) de usuários que classificaram o ambiente como inaceitável termicamente.

A aceitabilidade da velocidade do ar também foi analisada de acordo com a disposição dos usuários dentro da sala. Para cada mapa de velocidade do ar - sala 02 e sala 03, com o ar e sem o ar condicionado ligado – foram plotados os valores médios relativos aos votos de sensação e de aceitabilidade da velocidade do ar.

Ao observar a Figura 4.35, verifica-se que a média encontrada para os votos relativos à aceitabilidade da velocidade do ar esteve sempre dentro do agrupamento de aceitabilidade (aceitável – pouca velocidade do ar, suficiente velocidade do ar, muita velocidade do ar). Durante estes resultados, constatou-se uma frequência maior de médias para “pouca velocidade do ar” quando comparados à frequência de médias para “muita velocidade do ar”, que aparecem neste caso em apenas dois pontos próximos às zonas de maior velocidade. Quando o ar condicionado foi acionado, observou-se que a frequência das médias para “pouca velocidade do ar” diminuiu visivelmente e manteve-se presente apenas nas áreas onde a velocidade do ar era inferior a 0,20m/s.

Ao comparar estes resultados com as análises de preferência pela velocidade do ar (Figura 4.36) nota-se que, nem em todos os casos onde os usuários se disseram sob pouca velocidade do ar, existe a preferência por valores mais altos. Da mesma maneira, usuários que anteriormente

classificaram a velocidade do ar como “suficiente”, optariam por valores ainda mais altos. É interessante ressaltar que usuários que anteriormente responderam que a velocidade do ar apesar de excessiva, era aceitável, não optaram por diminuir estes valores.

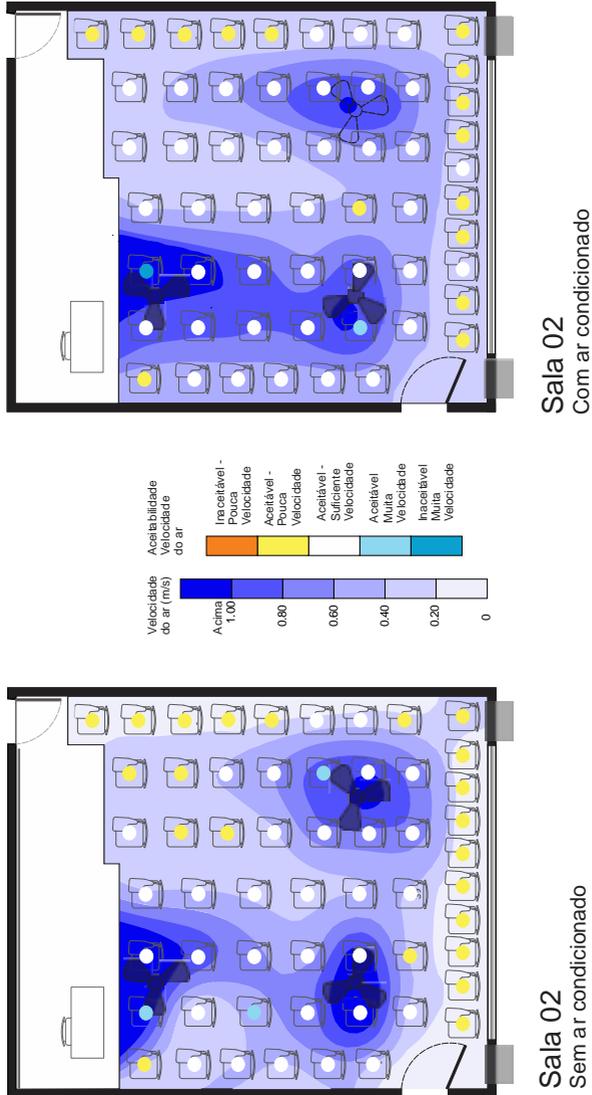


Figura 4.35 – Aceitabilidade da velocidade do ar associada à disposição dos usuários dentro da sala de aula 02.

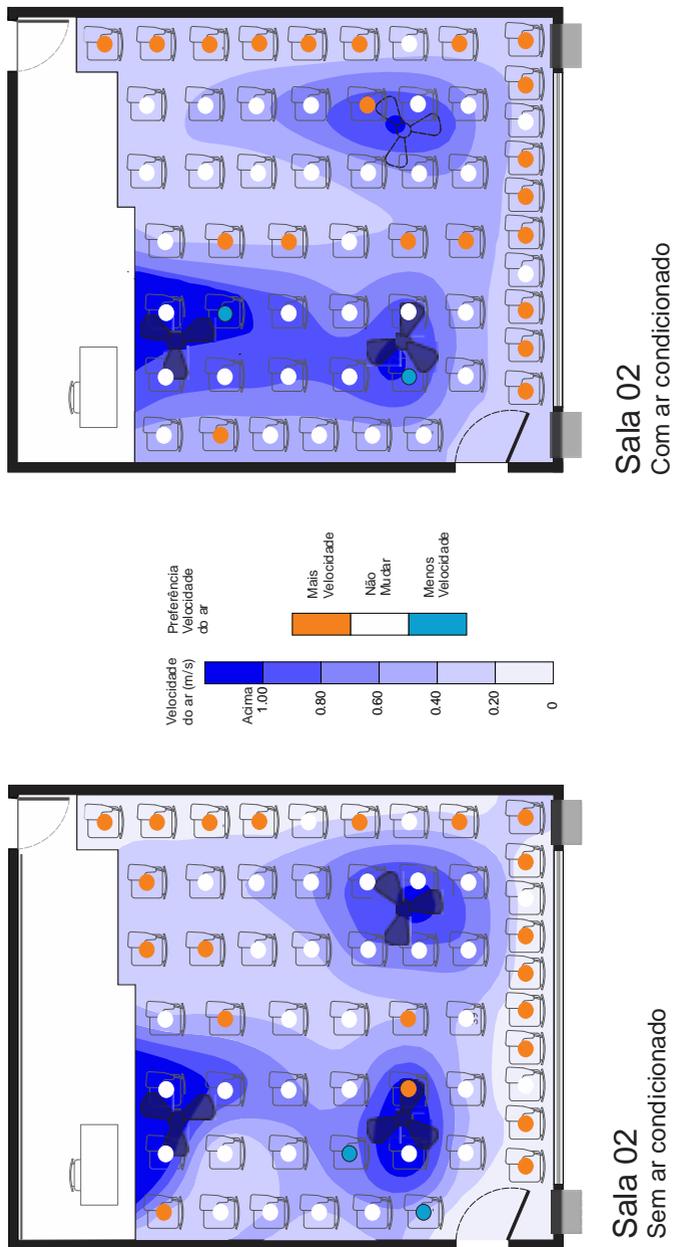


Figura 4.36 – Preferência pela velocidade do ar associada à disposição dos usuários dentro da sala de aula 02.

Resultados similares foram encontrados quando a mesma análise foi realizada na sala de aula 03, verificando-se apenas uma menor frequência nos valores médios para “pouca velocidade”, quando comparados à frequência encontrada na sala de aula 02 (Figura 4.37). Uma peculiaridade encontrada na análise da sala 03 pôde ser verificada através da existência de um ponto com voto médio de inaceitabilidade causada pelo valor alto de velocidade, que compreendia um intervalo de 0,40 a 0,60m/s.

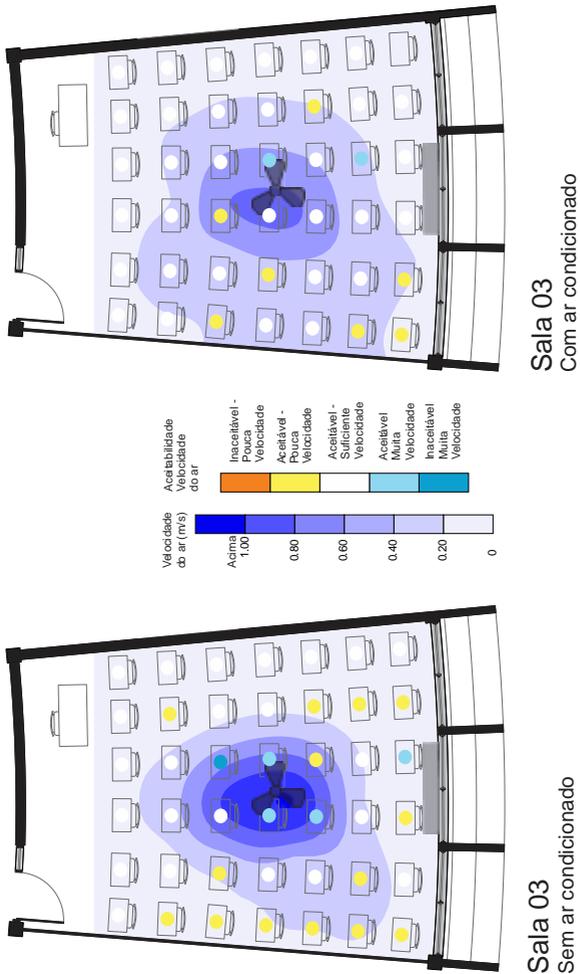


Figura 4.37 - Aceitabilidade da velocidade do ar associada à disposição dos usuários dentro da sala de aula 03.

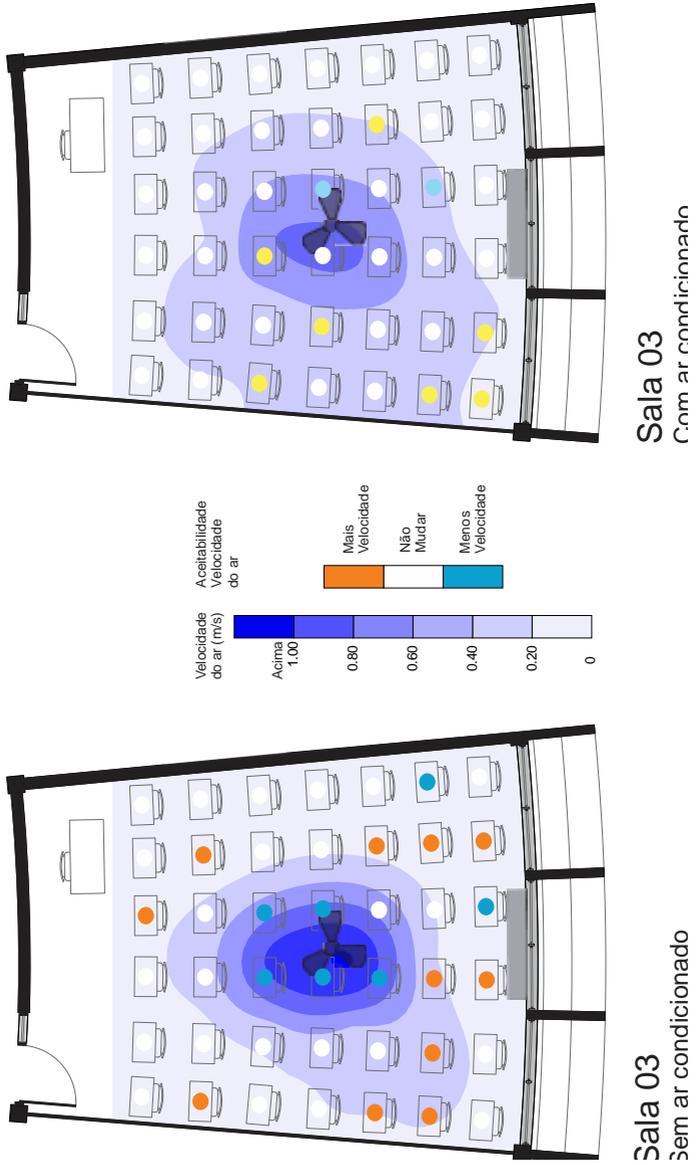


Figura 4.38 - Preferência pela velocidade do ar associada à disposição dos usuários dentro da sala de aula 02.

4.4.1 Acionamento dos condicionadores de ar

Durante a realização dos experimentos, foi solicitado aos alunos que mantivessem todos os ventiladores ligados na velocidade máxima durante toda a aula. Os aparelhos de ar condicionado poderiam ser acionados a qualquer momento, desde que partisse de um consenso entre os mesmos.

Dentre as medições realizadas, a primeira foi descartada pela inconsistência de dados obtidos através do confortímetro, Outras 7 medições foram iniciadas já com o uso do ar condicionado, 9 medições foram realizadas sem o acionamento do ar condicionado e em 8 medições foi possível observar o valor de temperatura sob a qual os usuários fizeram o acionamento dos condicionadores de ar.

Tabela 4.6 Resumo das medições de conforto relacionadas com o não-acionamento ou acionamento dos condicionadores de ar, temperatura operativa média em cada situação e sensação térmica média relatada pelos usuários de acordo com as condições.

Medição	Presença Ar Cond.	Nº. Votos	Temp. Operativa média	Turno	Sens. Média	Sala
Med. 1	Com ar cond. aula toda	128	25,4°C	Tarde	Lev. com calor	2
Med. 2	Sem ar cond. aula toda	48	23,3°C	Manhã	Neutro	3
Med. 3	Sem ar cond. aula toda	61	25,7°C	Tarde	Lev. com calor	3
Med. 4	Sem ar cond. aula toda	114	26,1°C	Noite	Lev. com calor	3
Med. 5	Com ar cond. aula toda	32	23°C	Tarde	Lev. com frio	3
Med. 6	Com ar cond. aula toda	102	23,7°C	Tarde	Neutro	3
Med. 7	Com ar cond. aula toda	131	23,3°C	Manhã	Neutro	2
Med. 8	Com ar cond. aula toda	60	24,4°C	Tarde	Neutro	3
Med. 9	Com ar cond. a partir de Tar. 28,3°C	88	24,9°C	Manhã	Sem ar: Lev. calor	2
					Com ar: Neutro	2
Med. 10	Com ar cond. aula toda	155	25,1°C	Tarde	Neutro	2

Med. 11	Com ar cond. a partir de Tar. 26,5°C	95	24,2°C	Manhã	Sem ar: Lev. calor	2
					Com ar: Neutro	2
Med. 12	Sem ar cond.aula toda	73	23,8°C	Manhã	Neutro	2
Med. 13	Com ar cond. aula toda	108	24,2°C	Tarde	Neutro	2
Med. 14	Sem ar cond.aula toda	74	20,8°C	Manhã	Lev. frio	2
Med. 15	Com ar cond. a partir de Tar. 25°C	94	22,1°C	Manhã	Sem ar: Neutro	2
					Com ar: Lev. frio	2
Med. 16	Com ar cond. a partir de 25,8°C	117	22,6°C	Tarde	Sem ar: Neutro	2
					Com ar: Lev. frio	2
Med. 17	Sem ar cond.aula toda	135	23,1°C	Manhã	Neutro	2
Med. 18	Com ar cond. a partir de 27,3°C	96	23,12°C	Tarde	Sem ar: Lev. calor	2
					Com ar: Neutro	2
Med. 19	Sem ar cond.aula toda	67	22,7°C	Manhã	Neutro	2
Med. 20	Sem ar cond.aula toda	59	24,1°C	Tarde	Lev. frio	3
Med. 21	Sem ar cond.aula toda	90	26,9°C	Manhã	Lev. calor	2
Med. 22	Com ar cond. a partir de 27,2°C	75	25,1°C	Tarde	Sem ar: Lev. calor	2
					Com ar: Neutro	2
Med. 23	Com ar cond. A partir de 24,5°C	110	24,7°C	Manhã	Sem ar: Neutro	2
					Com ar: Lev. frio	2
Med. 24	Com ar cond. a partir de 27,3°C	180	25,1°C	Manhã	Sem ar: Lev. calor	2
					Com ar: Neutro	2

A Tabela 4.6, resume os dados relacionados ao acionamento e não acionamento dos condicionadores de ar, onde observou-se que a sensação de “levemente com calor” foi relatada a temperaturas acima de 25°C, o que em alguns casos, fez com que os usuários acionassem o ar condicionado e saltassem da sensação de “levemente com calor” para a sensação “neutra” (medições 9, 18, 22 e 24). No caso da medição 15,

onde o ar condicionado foi ligado a uma temperatura operativa média de 25°C, houve uma alteração na sensação térmica média dos usuários de “neutro” para “levemente com frio”. Estes resultados condizem com os estudos de Arens *et al.* (2009), e o modelo adaptativo, onde a partir de 26°C (Temperatura Operativa), os usuários tem a possibilidade de controle do ambiente.

Considerando-se as situações onde houve o acionamento dos condicionadores de ar durante a medição, observa-se que as mesmas ocorreram dentro de um intervalo de temperatura do ar de 24,5°C a 28,3°C. A maior frequência de valores ocorreu próxima dos 27°C, resultando em uma média de acionamento de 26,5°C (Figura 4.39).

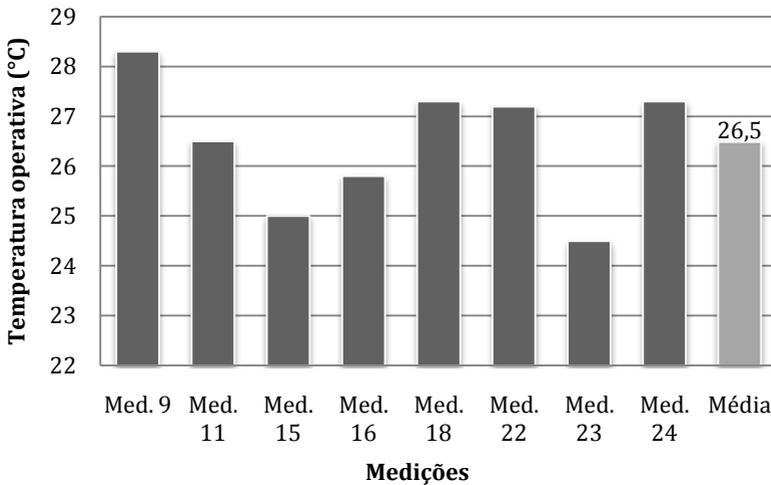


Figura 4.39 –Valores de temperatura operativa sob os quais os aparelhos de ar condicionado foram acionados nas salas de aula onde se realizaram os experimentos.

4.5 EXPOSIÇÃO PRÉVIA E PREFERÊNCIA DE CONDICIONAMENTO AMBIENTAL

A segunda parte do questionário aplicado durante os experimentos de conforto reuniu perguntas referentes aos hábitos e preferências dos usuários com relação à climatização de ambientes. Com os dados obtidos, foram realizadas análises para verificar o impacto da exposição prévia dos usuários a ambientes climatizados com a utilização dos aparelhos de ar condicionado. Além destas análises, os resultados também

descreveram a opinião dos alunos com respeito ao uso dos ventiladores de teto.

Dentre as respostas dos usuários conexas à pergunta “Você normalmente utiliza ar condicionado em ambientes internos?”, verificou-se que aproximadamente 53% dos entrevistados se disseram habituados a ambientes com o uso dos condicionadores de ar, enquanto que 47% dos entrevistados não eram habituados às mesmas condições (Figura 4.40).

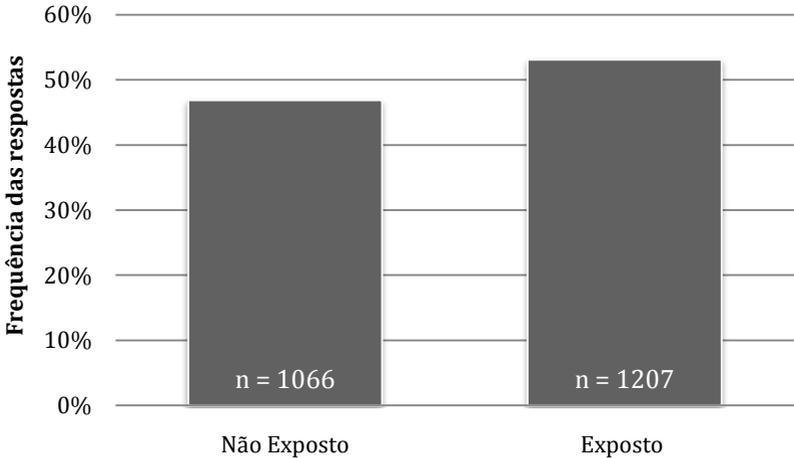


Figura 4.40 – Frequência de usuários previamente expostos ou não a ambientes com o uso dos aparelhos de ar condicionado.

Analisando as duas amostras de usuários, previamente expostos ou não à climatização artificial e excluindo os votos em branco, observou-se que usuários previamente habituados, tendem a preferir a utilização do ar condicionado, enquanto que usuários expostos usualmente a ambientes ventilados naturalmente acabam recorrendo à ventilação natural ou aliada ao uso de ventiladores como estratégia para a climatização (Figura 4.41). Esta afirmação reforça a tese de Cândido *et al.* (2010), refletindo que estes usuários previamente expostos a ambientes climatizados artificialmente estariam “viciados” aos mesmos.

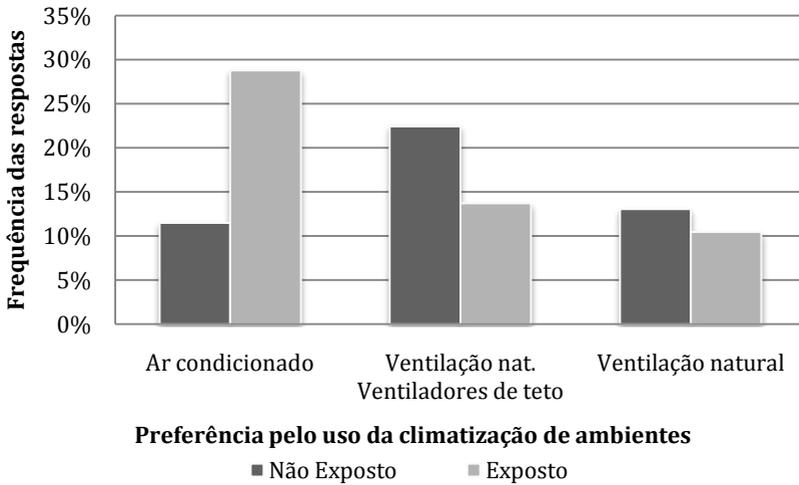


Figura 4.41 – Preferência pelo uso da climatização em ambientes de usuários previamente expostos a ambiente com o uso do ar condicionado e usuários sem exposição prévia.

As respostas dos usuários ainda relataram que a maioria deles está habituada a ambientes condicionados artificialmente no local de trabalho, com um período de exposição média de 4 horas e meia por dia, conforme apresenta a Figura 4.42.

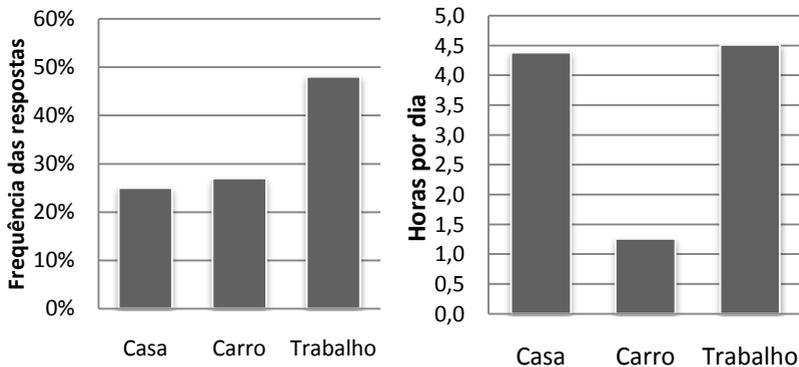


Figura 4.42 – Frequência dos usuários habituados a ambientes com ar condicionado e que o utilizam em casa, no carro ou no trabalho (à esquerda) e o tempo médio de permanência para cada um desses locais (à direita).

Analisando estes usuários (com exposição prévia ou não ao uso dos condicionadores de ar) separadamente por sexo, é possível afirmar que existe uma diferença de apenas 6% entre as duas amostras. No entanto, ao analisar as respostas relativas à preferência pela climatização de ambientes nota-se que, neste experimento, usuários do sexo masculino preferem em sua maioria, ambientes com o uso de aparelhos de ar condicionado, enquanto que usuários do sexo feminino apresentam menor porcentagem quando comparados ao mesmo (Figura 4.43).

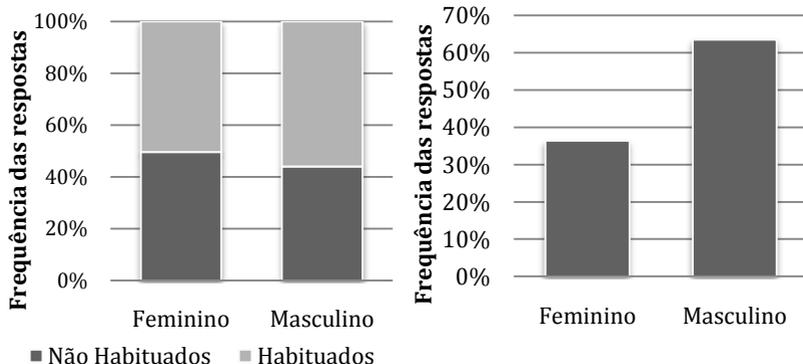


Figura 4.43 – Usuários habituados e não habituados ao uso de condicionadores de ar (à esquerda), usuários que preferem ambientes climatizados com o uso de ar condicionado separados por sexo (à direita).

Além da preferência pela climatização artificial, outra característica inerente a usuários previamente expostos a ambientes com ar condicionado pode ser verificada quando se compararam as respostas relativas à sensação e preferência térmica (Figura 4.44e Figura 4.45).

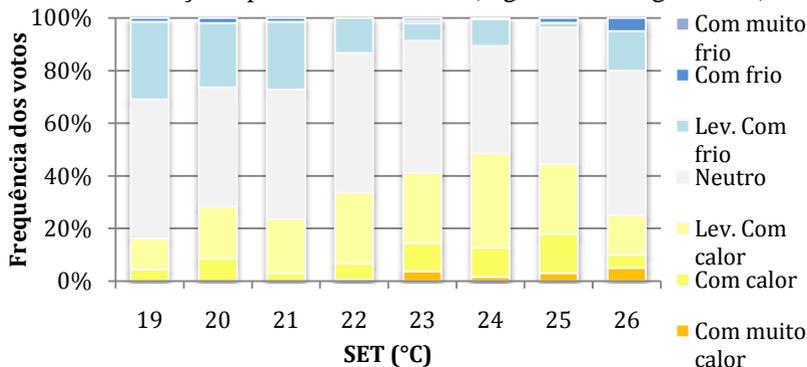


Figura 4.44 – Sensação térmica dos usuários COM EXPOSIÇÃO prévia ao uso de ar condicionado.

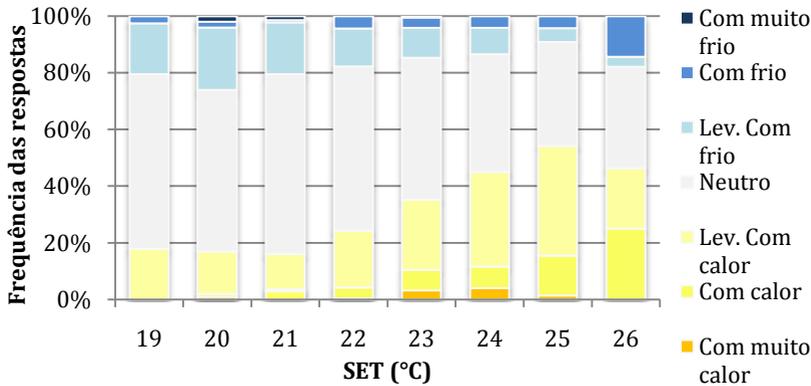


Figura 4.45 – Sensação térmica de usuários SEM EXPOSIÇÃO prévia ao uso de ar condicionado.

Analisando as duas situações onde foram representadas as sensações térmicas dos usuários durante as medições, é possível constatar que a amostra relativa aos entrevistados previamente expostos ao uso de aparelhos de ar condicionado (Figura 4.46) apresentou votos de “com muito calor” e “com calor” a partir de 19°C. Ao observar a análise dos usuários sem exposição prévia ao uso do ar condicionado, constataram-se votos de “com muito frio” e “com frio” em maior quantidade quando comparados aos votos dos usuários com exposição prévia, que apresentaram apenas votos de “com frio e levemente com frio”.

Outra característica verificada quando se compararam as duas situações, diz respeito à neutralidade térmica destes usuários. Usuários previamente expostos a ambientes condicionados artificialmente apresentam maiores flutuações nas sensações térmicas relatadas devido à intolerância dentro de ambientes sem condições estáticas de temperatura. Já os usuários sem exposição prévia a este tipo de ambiente, apresentaram maiores porcentagens de votos indicando a neutralidade térmica, demonstrando maior tolerância às flutuações de temperatura.

Com o intuito de reforçar tais afirmações, a Figura 4.46 reuniu os votos extremos de frio (com muito frio e com frio) e calor (com muito calor e com calor) em um só gráfico, comparando usuários previamente expostos ao uso de ar condicionado aos usuários sem prévia exposição. O valor de SET médio para esta análise foi de 23,5°C para os não habituados e 23,1°C para os habituados a ambientes climatizados artificialmente.

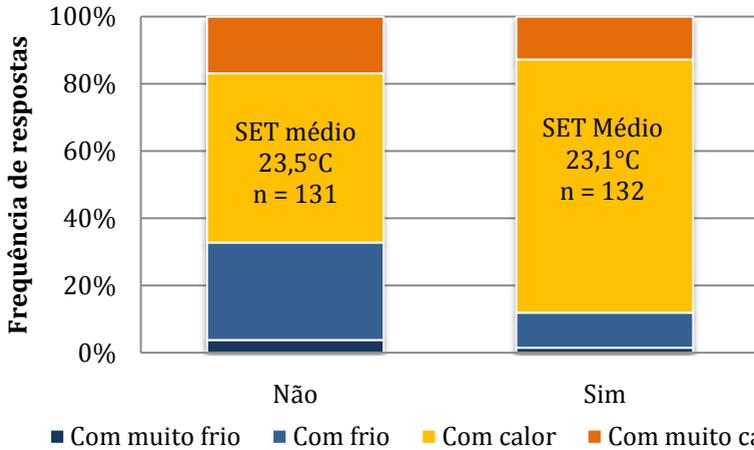


Figura 4.46 – Frequência de votos extremos de frio e calor relativos à sensação térmica dos usuários habituados e não habituados ao uso dos aparelhos de ar condicionado durante o experimento.

O que se pode observar nesta figura é que mesmo com uma diferença pouco maior entre o SET médio ($^{\circ}\text{C}$), a parcela de votos extremos de “com muito frio” e “com frio” é significativamente maior no grupo de usuários sem exposição prévia a ambientes condicionados artificialmente. No entanto, o contrário ocorre ao analisarem os votos extremos de “com muito calor” e “com calor”. Neste caso, usuários previamente expostos a ambientes com ar condicionado, apresentam uma parcela maior de votos de calor quando comparados aos usuários sem exposição prévia.

Tais diferenças se tornam mais significativas quando são comparados os votos de preferência com relação ao ambiente térmico de usuários com exposição prévia e sem exposição prévia ao uso do condicionamento de ar. Tal afirmação pode ser observada nas Figura 4.47 e Figura 4.48, que apresentam a expectativa dos usuários com relação ao ambiente. Analisando as duas situações, nota-se que a quantidade de votos por um ambiente “mais resfriado” é maior dentre os usuários com prévia exposição a ambientes condicionados quando comparadas á quantidade de votos para a mesma situação de usuários sem a exposição prévia.

Ainda na mesma comparação, verifica-se novamente o comportamento inconstante de usuários previamente expostos a ambientes climatizados com relação à preferência térmica. Ao observar a

análise dos usuários sem exposição prévia, verifica-se que os mesmos apresentam um comportamento mais homogêneo, além da quantidade pouco maior de votos que indicam a neutralidade térmica.

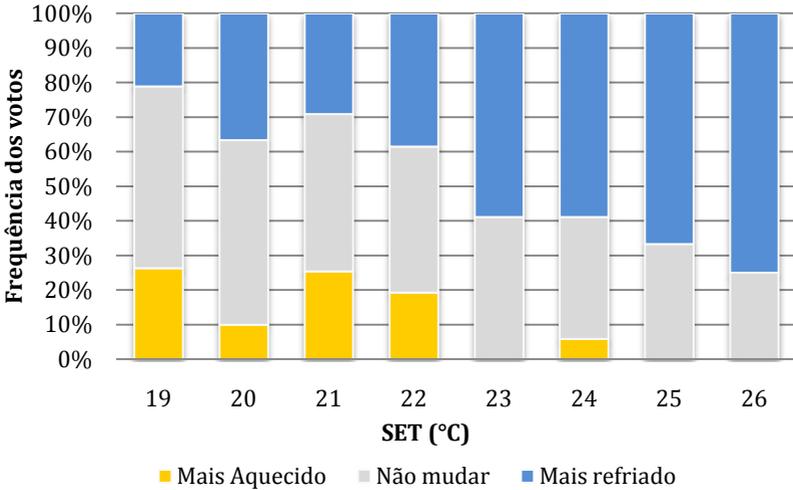


Figura 4.47 – Preferência térmica com relação ao ambiente de usuários COM EXPOSIÇÃO prévia ao uso de ar condicionado.

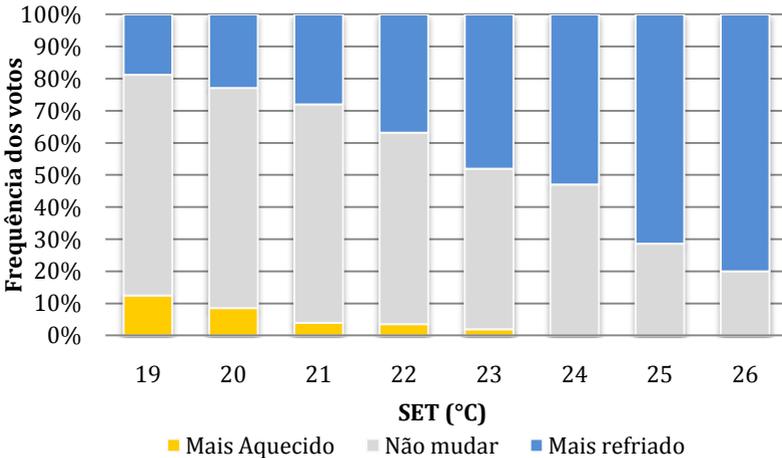


Figura 4.48 – Preferência térmica com relação ao ambiente de usuários SEM EXPOSIÇÃO prévia ao uso de ar condicionado.

Com relação à aceitabilidade térmica dos usuários expostos previamente ou não ao uso dos condicionadores de ar, observou-se que usuários sem exposição prévia apresentam uma porcentagem menor de inaceitabilidade aos valores superiores de SET quando comparados aos usuários com exposição prévia (Figura 4.49 e Figura 4.50). Nota-se que esta inaceitabilidade é menor a partir de 25°C.

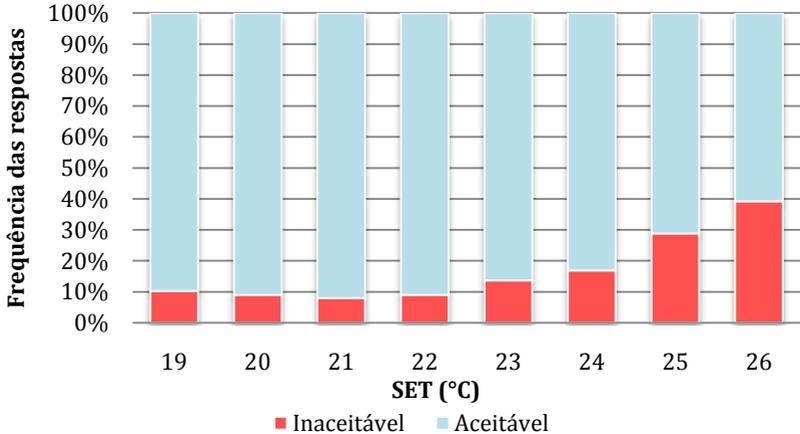


Figura 4.49 – Aceitabilidade térmica com relação ao ambiente estudado de usuários COM EXPOSIÇÃO prévia ao uso de condicionadores de ar.

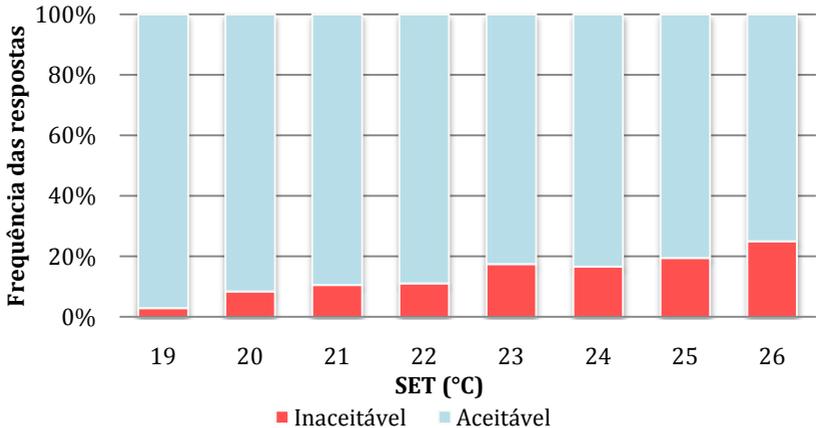


Figura 4.50 – Aceitabilidade térmica com relação ao ambiente estudado de usuários SEM EXPOSIÇÃO prévia ao uso de condicionadores de ar.

Ao verificar quais foram os reais motivos para esta inaceitabilidade térmica, obtiveram-se os resultados apresentados nas Figura 4.51 e Figura

4.52, que tornam convenientes as análises de diferenciação entre os usuários expostos e não expostos ao uso dos condicionadores de ar. Assim, é possível concluir que usuários com exposição prévia ao uso do ar condicionado na sua maioria são intolerantes ao calor, enquanto que a intolerância ao frio ocorre em usuários sem exposição prévia a ambientes condicionados artificialmente.

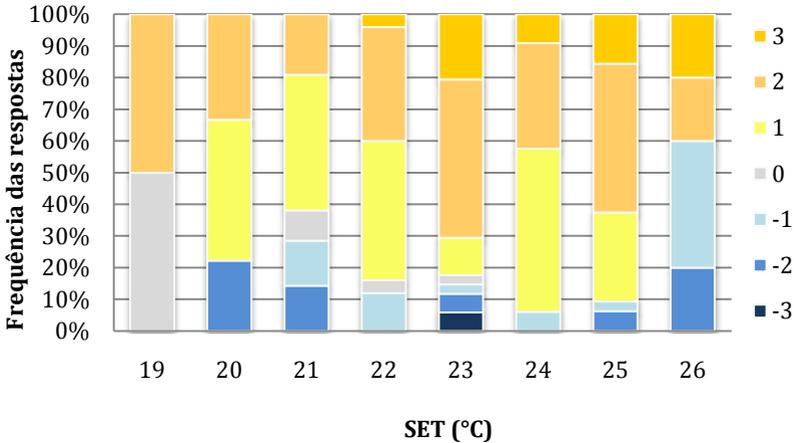


Figura 4.51 – Sensação térmica a temperaturas mais baixas de usuários COM EXPOSIÇÃO prévia ao uso do ar condicionado.

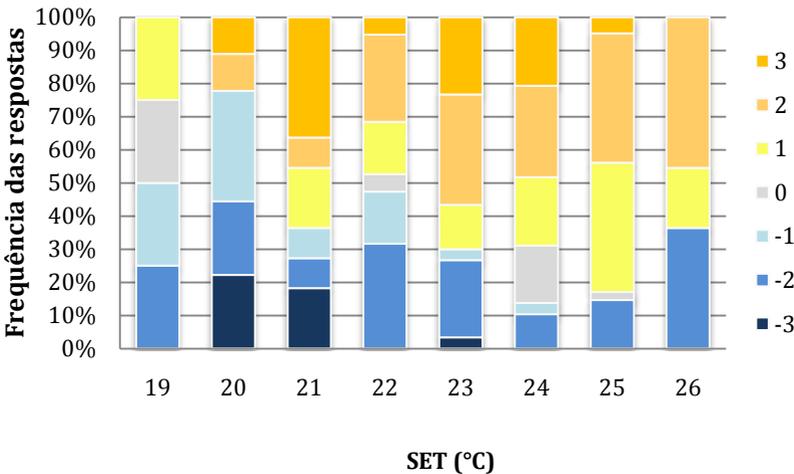


Figura 4.52 – Sensação térmica a temperaturas mais baixas de usuários SEM EXPOSIÇÃO prévia ao uso do ar condicionado.

Ao analisar as diferenças de preferência com relação à velocidade do ar de usuários com exposição prévia ou não ao uso de ar condicionado, nota-se que a porcentagem de usuários não expostos que votaram por “mais velocidade do ar” é levemente superior (33%) a porcentagem de usuários habituados ao uso dos condicionadores de ar (27%). Os votos por “menos velocidade do ar” para os usuários com exposição e sem exposição prévia corresponderam a 19% e 16% respectivamente (Figura 4.53).

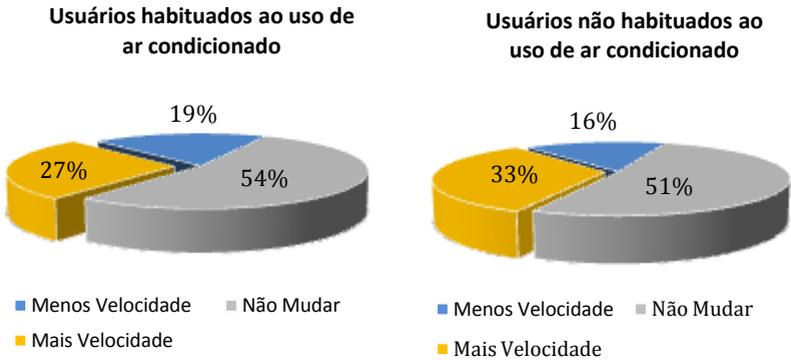


Figura 4.53 – Preferência pela velocidade do ar de usuários com exposição prévia ao uso do ar condicionado (à esquerda) e sem exposição prévia (à direita).

Durante o experimento, os usuários foram questionados a respeito dos ventiladores de teto, e quais os problemas relacionados ao uso dos mesmos. A Figura 4.54 apresenta as respostas obtidas para a questão: “qual a sua opinião sobre o uso de ventiladores de teto?” Dentre as alternativas oferecidas, os usuários puderam escolher entre “incomoda”, “tanto faz” ou “melhora o ambiente”. Aproximadamente 60% dos votos corresponderam à “melhora o ambiente” contra 23% “tanto faz” e 18% “incomoda”.

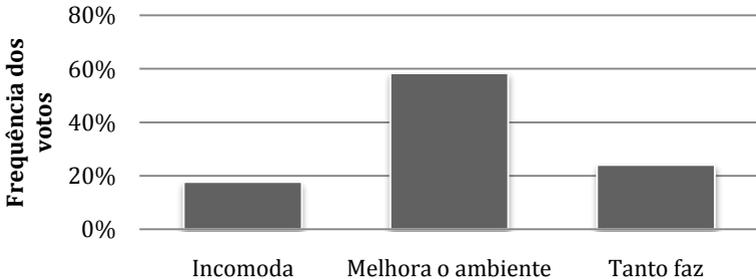


Figura 4.54 – Opinião dos usuários com relação ao uso de ventiladores de teto.

Dentre as justificativas mais relevantes apresentadas pelos entrevistados que se disseram incomodados com o uso de ventiladores de teto, observou-se com maior frequência a insatisfação com a movimentação do ar contínua no corpo, a dificuldade de concentração durante a aula causada pelo barulho do equipamento, problemas respiratórios causados pela flutuação de poeira sedimentada e pó proveniente de giz. Com menor frequência, foram observadas justificativas como: dores de cabeça ou dor de ouvido causadas pelo vento constante, e a não uniformidade da sensação refrescante nas áreas atingidas e não atingidas pelo movimento do ar. Alguns alunos afirmaram ainda temerem acidentes como a queda do equipamento sobre suas cabeças.

Os usuários que assinalaram a alternativa “tanto faz” justificaram seu voto ao afirmar que em dias quentes os ventiladores de teto se mostram pouco eficientes, com baixo efeito na temperatura ambiental e resultando muitas vezes em uma estratégia ineficaz. Outros se justificaram ao descrever que apesar da melhoria no ambiente, o barulho acaba atrapalhando excessivamente, que o torna supérfluo.

Para os usuários satisfeitos com o uso de ventiladores de teto (e que representaram a grande maioria no experimento) que asseguraram melhoria térmica no ambiente causada pelos mesmos, o principal benefício adquirido foi o do auxílio à circulação de ar interno, que fez com que a sensação de conforto aumentasse através do contato entre a superfície da pele e velocidade do ar. Outras justificativas cabíveis encontradas foram: sensação agradável causada pela movimentação de ar, ausência de choque térmico quando se muda de um ambiente ao outro, o não resfriamento do ambiente a ponto de se sentir frio e seco como ocorre em ambientes com o uso dos condicionadores de ar e, a economia de energia nas estações mais amenas.

Ao se posicionarem a respeito do maior problema prático relacionado ao uso dos modelos de ventiladores de teto instalados na sala de aula, grande parte dos usuários apontou o ruído como o maior problema. No entanto, votos para “velocidade do ar e voo de papéis” também tiveram participação ativa (Figura 4.55).

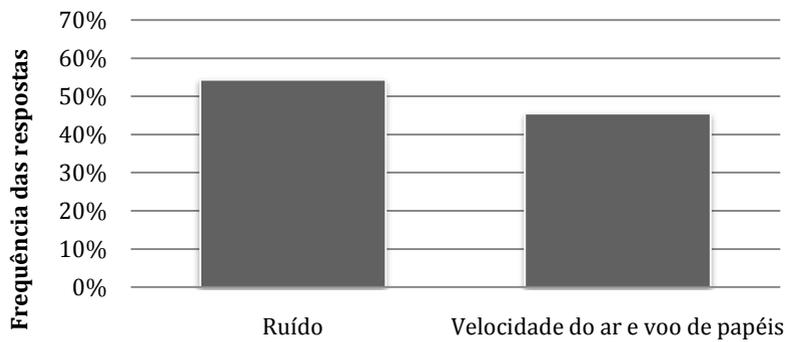


Figura 4.55 – Respostas dos usuários relativas aos problemas causados pelos ventiladores de teto.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como foco a avaliação de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar em salas de aula com ventiladores de teto na cidade de Florianópolis/SC. Ao final do experimento, reuniu-se um total de 2.507 dados referentes à sensação de conforto, à aceitabilidade e preferência térmica e da velocidade do ar, bem como dados referentes à preferência por diferentes estratégias de climatização e ao uso de ventiladores de teto. Os dados resultantes dos experimentos realizados em campo, relativos ao clima de Florianópolis/SC, podem contribuir para a formação do Banco de Dados Brasileiros em Conforto Térmico, e para a formulação de normas referentes a climas semelhantes.

Quanto à aceitabilidade térmica dos ocupantes durante o experimento, verificou-se que em 86% dos votos, os ambientes foram classificados como “aceitáveis”. Ao considerar as situações em que estes votos ocorreram dentro de um intervalo de 80% a 90% de aceitabilidade, os valores de SET foram de 19°C a 23°C. Acima destes valores (25°C a 26°C) a inaceitabilidade atingiu valores próximos de 25% e 35%.

A inaceitabilidade térmica ocorreu (75% dos votos) devido à baixa velocidade do ar, incidindo com maior frequência (acima de 10% de inaceitabilidade) nos intervalos de 0,10 a 0,40m/s, sendo que velocidades superiores a este valor foram bem aceitas. A inaceitabilidade causada pela alta velocidade do ar (acima de 10%) foi verificada para valores acima de 0,90 m/s. Estes resultados mostram que a movimentação do ar com valores acima dos encontrados na literatura e nas normas internacionais até o limite de 0,90m/s são bem aceitos em Florianópolis/SC para condições de tempo quente e úmido.

O impacto gerado pela prévia exposição a ambientes climatizados artificialmente foi verificado tanto na preferência pela estratégia para climatização de ambientes como na sensação, preferência e aceitabilidade térmicas. Os resultados indicam que existe claramente um vício em relação ao uso dos condicionadores de ar por parte dos usuários previamente expostos a estas condições. Além do vício à climatização artificial, estes usuários demonstraram pouca tolerância com relação às flutuações de temperatura, além de menor aceitabilidade térmica quando comparada à aceitabilidade dos usuários sem exposição prévia ao ambiente climatizado. Verificou-se também que usuários do sexo masculino preferem duas vezes mais a climatização através do uso dos condicionadores de ar do que usuários do sexo feminino.

O acionamento dos condicionadores de ar ocorreu em 8 situações diferentes, dentro de um intervalo de temperatura operativa média de 24,5°C a 28,3°C. Dentre estes valores, observou-se maior frequência de acionamento em temperaturas próximas a 26°C, o que condiz com os valores apresentados por Rivero (1986). A partir de 25°C, observou-se que a sensação de “levemente com calor” ocorreu com maior frequência, fazendo com que os usuários incorporassem ao ambiente a climatização mecânica através do uso de aparelhos de ar condicionado.

O estudo mostrou a aceitabilidade e a preferência dos usuários por valores elevados (de 0,4 a 1,40 m/s) de velocidade do ar e boa aceitação em relação aos ventiladores de teto em salas de aula na cidade de Florianópolis, tendo os usuários afirmado que a alta velocidade do ar “melhora a qualidade do ambiente” e “promove conforto térmico”. Através dos mapeamentos de velocidade do ar e das sensações relatadas pelos usuários verificou-se que grande parte dos usuários que relataram desconforto com relação às temperaturas internas e que preferiram “maior velocidade do ar” estavam localizados nas zonas onde os valores de velocidade do ar não ultrapassaram 0,20 m/s.

Estes resultados ressaltam a importância do aumento da circulação e velocidade do ar e também das oportunidades adaptativas aos ocupantes em relação à sensação térmica em climas quentes e úmidos. Tais constatações confirmam o potencial de economia elétrica em edificações através da utilização da ventilação como estratégia de climatização, visto que valores de velocidade do ar acima dos previstos por normas internacionais são bem aceitos na cidade Florianópolis/SC.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As principais limitações encontradas durante a realização desta pesquisa estão relacionadas à análise final dos dados, e à falta de algumas variáveis ambientais externas não obtidas durante o experimento.

Os dados de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar externos à edificação não foram coletados durante todo experimento de campo, o que dificultou a análise dos gráficos referentes à sensação, preferência e aceitabilidade térmica, limitando assim os resultados e criando discussões pouco conclusivas a respeito dos mesmos. Como os valores superiores de SET correspondiam aos dias em que o ar condicionado não era acionado e a temperatura externa possivelmente atingia valores medianos, as análises apresentaram algumas imprecisões, assim como ocorreu com os valores inferiores de SET, que correspondiam aos dias mais quentes em que a temperatura externa era

superior e as medições ocorriam com os aparelhos de ar condicionado ligados.

Também houveram limitações nas análises relativas aos dados de prévia exposição dos usuários a ambientes condicionado artificialmente, já que os dados foram analisados como um todo, sem separação entre as respostas no momento em que só os ventiladores operavam e quando os ventiladores de teto e aparelhos de ar condicionado operavam juntos. Desta forma, as análises que consideraram os valores de SET se tornaram pouco precisas, não sendo possível concluir se o acionamento ou não dos aparelhos de ar condicionado estava influenciando nas respostas de sensação, preferência e aceitabilidade térmica dos estudantes durante o experimento.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante a realização deste trabalho observaram-se ramificações e limitações referentes ao tema e que podem ser exploradas para uma maior compreensão da aceitabilidade da velocidade do ar em climas quentes e úmidos. A seguir, são apresentadas sugestões de estudos que podem ser desenvolvidos de maneira a acrescentar as análises:

- Maior número de experimentos de campo em diferentes regiões climáticas, de maneira a acrescentar dados para a formação do Banco nacional de dados relativos ao conforto térmico no Brasil;
- Criação de tabelas e gráficos com limites de velocidade do ar relacionados aos valores de SET necessários ao acionamento dos dispositivos de controle para diferentes regiões climáticas;
- Aprofundar-se na questão da influência da exposição prévia de usuários ao uso dos condicionadores de ar na expectativa, sensação e preferência térmica dos mesmos;
- Averiguar a influência da oportunidade de controle dos dispositivos de climatização de ambientes na sensação, preferência térmica e da velocidade do ar de usuários expostos a temperaturas acima de 26°C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLARD, F., UTSUMI, Y. Airflow through large openings. **Energy and Buildings**, v.18, p. 133-145. 1992.

ANSI/ASHRAE Standard 55 – 1992. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA, 1992.

ANSI/ASHRAE Standard 55 – 2004. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, **Inc.** Atlanta, USA, 2004.

ANSI/ASHRAE Standard 55 – 2010. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, **Inc.** Atlanta, USA, 2010.

ARENS, E., XU, T., MIURA, K., HUI, Z., FOUTAIN, M., BAUMAN, F. A study of occupant cooling by personally controlled air movement. **Energy and Buildings**, v. 27, p. 45-59. 1998.

ARENS, E., TURNER, S., ZHANG, H., PALIAGA, G. Moving air for comfort. **Ashrae Journal**, 51 (5), p. 18-29. 2009.

ASHRAE. **Handbook of fundamentals**: Chapter 8 - Thermal Comfort. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA, 1997.

ASHRAE. **Handbook of fundamentals**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**. Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

Balanço Energético Nacional, BEN. **Relatório final 2008**. Ano base 2007. Rio de Janeiro: EPE. 2008

Balanço Energético Nacional, BEN. **Resultados preliminares**. Ano base 2008. Rio de Janeiro: EPE. 2009.

BITTENCOURT, L. S., CÂNDIDO, C. M. **Introdução à Ventilação Natural**. Ed: UFAL, Maceió, 2005.

BOERSTRA, A. Personal comfort in future thermal standards?. **Proceedings of Adapting to Change: New Thinking on Comfort**, Windsor, UK. 2010.

BRAGER, G., DE DEAR, R. J. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. **Energy and Buildings**, v. 27, p. 83-96. 1998.

BRAGER, G. S., PALIAGA, G., DE DEAR, R. Operable windows, personal control, and occupant comfort. **ASHRAE Transactions**, 110 (2) p. 17-35. 2004.

BRE - Building Research Establishment. Principles of Natural Ventilation. **BRE Digest**, BRE, Garston, 1978.

BRE - Building Research Establishment. Thermal, Visual and Acoustic Requirements in Buildings. **BRE Digest**, Garston, 1979.

CALVINO, F., GENNUSA, M. L., MORALE, M., RIZZO, G., SCACCIANOCE, G. Comparing different control strategies for indoor thermal comfort aimed at the evaluation of the energy cost of quality of building. **Applied Thermal Engineering**. v. 30, p.2386-2395. 2010.

CÂNDIDO, C. **Indoor air movement acceptability and thermal comfort in hot-humid climates**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. 180p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 2010.

CÂNDIDO, C., DE 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, p. 222-229. 2009a.

CÂNDIDO, C., DE DEAR, R. J., LAMBERTS, R., BITTENCOURT, L. Cooling exposure in hot humid climates: are occupants "addicted"?. **Architectural Science Review**, v.53, p. 59-64. 2010b.

CÂNDIDO, C. M., LAMBERTS, R., DE DEAR, R., BITTENCOURT, L. S. Toward a Brazilian standard for naturally ventilated buildings: guidelines for thermal and air movement acceptability. In: **2010 Windsor Conference - Adapting to Change: New Thinking on Comfort**, Cumberland Lodge, Windsor, UK. 2010.

CHOI, J., AZIZ, A., LOFTNESS, V. Investigation on the impacts of different genders and ages on satisfaction with thermal environments in office buildings. **Building and Environment**, v.45, p. 1529-1535. 2010.

CHOW, T. T., FONG, K. F., GIVONI, B. ZHANG, L., CHAN, A. L. S. Thermal sensation of Hong Kong people with increased air speed, temperature and humidity in air-conditioned environment. **Building and Environment**. v. 45, p. 2177-2183. 2010.

CLARK, G. Passive cooling systems. In: Cook, J., Editor. **Passive Cooling**. P. 347-538. 1989.

CLEMENTS-CROOME, D. J., LI, B. Impact of Indoor Environment on Productivity. **Workplace Comfort Forum**, Royal Institute of British Architects. London, 1995.

COOK, J. The state of passive cooling research. **Passive cooling**, ed. J. Cook, p. 539-569. MIT Press, Cambridge, MA. 1989.

CORCUERA, D. **Edifícios de escritórios: o conceito de sustentabilidade nos sistemas de vedação externa**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. 188p. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Estruturas Ambientais Urbanas, USP, 1999.

COSTA, E.C.; **Ventilação**. Ed. Blucher – 1ª. Edição. 271p., São Paulo. 2005.

DE DEAR, R. J, LEOW, K. G., AMEEN, A. Thermal comfort in the humid tropics- Part 1: Climate chamber experiments on thermal acceptability in Singapore. **ASHRAE Transactions**, v. 97 (Part. 1), p. 874-866. 1991.

DE DEAR, R., BRAGER, G., COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference – Final Report on ASHRAE RP 884**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA, 1997.

DE DEAR, R. J., BRAGER, G. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v.34, p. 549-561. 2002.

DE DEAR, R. J., WHITE, S. Residential air conditioning, thermal comfort and peak electricity demand management. **Proceedings of Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge**. Windsor, UK, 2008.

DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA – Ministério da Economia. **Eficiência energética nos edifícios**. Portugal, Lisboa. ISBN: 972-8268-25-4. Fev. 2002.

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. e PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, p.187. 2007. Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - ano base 2005. Classe residencial - Relatório Brasil. 2007a.

_____. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, p.214. 2007. Simulação de potenciais de eficiência energética para a classe residencial. 2007b.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort – Analysis and applications in Environmental Engineering**. McGraw-Hill Book Company. USA, 1970.

FANGER, P. O., Human requirements in future air-conditioned environments. **International Journal of Refrigeration**. v. 24, p. 148-153. 2001.

FANGER, P. O., MELIKOV, A. K., HANZAWA, H., RING, J. Air turbulence and sensation of draught. **Energy and Buildings**, v.12, p. 21-39. 1988.

FANGER, P. O., TOFTUM, J. **Thermal comfort in future – Excellence and expectations**. In: Moving Thermal Comfort Standards into 21st Century, 2001, Windsor, UK. Proceedings. Oxford: Oxford Brookes University, April, 2001.

FLEURY, B. Ventilative cooling: State of the art. **Proceedings of Workshop on Passive Cooling**, Ispra, Itália, 2-4 Abril, p. 123-133. 1990.

FOUNTAIN, M. E., BRAGER, G., ARENS, E., BAUMAN, F., BENTON, C. Comfort control for short-term occupancy. **Energy and Buildings**, v. 21, p. 1-13, 1994.

FOUNTAIN, M. E., HUIZENGA, C. WINCOMF: a windows 3.1 thermal sensation model user's manual for Wincomf. **Environmental Analytics**, Berkeley, CA, 1995.

FROTA, A. B., SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 7^a. Edição, Ed. Nobel, São Paulo. 2005.

GAGGE, A.P., FOBELETS, A.P., BERGLUND, L.G. Standard predictive index of human response to the thermal environment. **ASHRAE Transactions**, 92 (2B), p. 709-731. 1986.

GELLER, H. **O uso eficiente da eletricidade – uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil**. INEE, ACEEE. Rio de Janeiro, RJ. 1994.

GHIAUS, C., ALLARD, F. Potential for free-cooling ventilation. **Solar Energy**. v. 80, p. 402-413. 2006.

GOMES, C. H. G. **Análise em curto período de tempo das condições de conforto térmico em um edifício de escritórios na cidade de Maringá**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. 127p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC. 2002.

GOULART, S. V. G., LAMBERTS, R., FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis, Núcleo em Pesquisa em Construção, UFSC. Cap. 6: Dados Climáticos de Projeto: Cidade de Florianópolis, 1997.

HAWAII ENERGY CODE: **Hawaii Commercial Building Guidelines for Energy Efficiency**. State of Hawaii DBEDT, TJ164.5.B84.E7, 2004.
Disponível em: <http://www.archenergy.com/library/general/hawaiiig/>

HEDGE, A., ERICKSON, W. A., RUBIN, G. Predicting sick building syndrome at the individual and aggregate. **Environment International**, v.22, p. 3-19. 1996.

HEISELBERG, P., BJORN, E., NIELSEN, P.V. Impact of open windows on room air flow and thermal comfort, **International Journal of Ventilation**, vol. 1, n° 2, p.91-100. 2002.

HUMPHREYS, M. A., NICOL, J. F. **Understanding the adaptive approach to thermal comfort**. ASHRAE Technical data bulletin, 1998, vol.14. 1998.

INDRAGANTI, M., RAO, D., K. Effect of age, gender, economic group and tenure on thermal comfort: a field study in residential buildings in hot and dry climate with seasonal variations. **Energy and Buildings**, v.42, p. 273-281. 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Summary for Policymakers. In: METZ, B., DAVIDSON, O., BOSCH, P., DAVE, R., MEYER, L. Editors. **Climate Change 2007: Mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on the Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. P. 2-24, 2007.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 7730. **Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**. Genebra, 1994.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 10551. **Ergonomics of the thermal environment – Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales**. Genebra, 1995.

JA'AFAR, M. F. Z. B., CROXFORD, B. Adapting to technology: the case of air conditioning use in Malaysian homes. **Proceedings of Adapting to Change: New Thinking on Comfort**, Windsor, UK. 2010.

KHEDARI, J., YAMTRAIPAT, N., PRATINTONG, N., HIRUNLABH, J. Thailand Ventilation Comfort Chart. **Energy and Building**, v.32, p. 245-249. 2000.

KOENIGSBERGER O. H., INGERSOL, T., MAYHEN, A., SZOKOLAY, S. **Viviendas y Edificios en zonas cálidas y tropicales**. Trad. Emílio Romero Ros. Madrid, Paraninfo, 1979.

KRONER, W., STARK-MARTIN, J. A., WILLEMAIN, T. **Using advanced office technology to increase productivity: The impact of environmentally responsive workstations (ERWs) on productivity and worker attitude**. Troy, NY: Rensselaer Polytechnic Institute, Center for Architectural Research, 1992.

KUBO, H., ISODA, N., ENOMOTO-KOSHIMIZU, H. Cooling effects of preferred air velocity in muggy conditions. **Building and Environment**. v.32, p.211-218. 1997.

LEYTEN, J. L., KURVERS, S. R. Robustness of buildings and HVAC systems as a hypothetical construct explaining differences in building related health and comfort symptoms and complaint rates. **Energy and Buildings**. v.38, p. 701-707. 2006.

MALLICK, F. H. Thermal comfort and building design in the tropical climates. **Energy and Buildings**, v. 23, p. 161-167. 1996.

MASCARÓ, J. L., MASCARÓ, L. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético de edifícios**. Porto Alegre: Sagra, DC. Luzzatto Editores, 1992.

MATHEWS, E. H., BOTHA, C. Improved thermal building management with the aid of integrated dynamic HVAC simulation. **Building and Environment**, v.38, p.1423-1429. 2003.

MENDONÇA, F. Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica – notas introdutórias. **Terra Livre**. Ano 19, vol I, n°. 20. p. 205 – 221. 2003.

MERMET, A. G. **Ventilación natural de edificios : fundamentos y métodos de cálculo para aplicación de ingenieros y arquitectos**. Ed. Eduardo Yarke – 1ª. Ed. 139p. Buenos Aires. 2005.

MME - Ministério de Minas e Energia. Eficiência energética. **Plano nacional de energia 2030**. Brasília: MME: EPE, v.11, 2007.

NICOL, F. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. **Energy and Buildings**, v.36, p. 628-637. 2004.

NICOL, F., HUMPHREYS, M. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. **Energy and Buildings**, v. 34. P. 563-572. 2002.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro, 421p. 1989.

OLIVEIRA, P. M. P. Metodologia do desenho urbano considerando os atributos bioclimatizantes da forma urbana e permitindo o controle do conforto ambiental, do consumo energético e dos impactos ambientais. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1993, São Paulo. **Anais..** São Paulo: ANTAC/EPUSP/IPT/UFRGS/UFSC, 1993. V2, p. 1001-1013.

OSELAND, N. A. A comparison of the predicted and reported thermal sensation vote in homes during winter and summer. **Energy and Buildings**, v. 21. p. 45-54. 1994.

OSELAND, N. A., HUMPHREYS, M. A. **Trends in thermal comfort research**. Garston, Watford, UK: Building Research Establishment. 1994.

PAPST, A. L. **Uso de inércia térmica no clima subtropical, estudo de caso em Florianópolis – SC**. Florianópolis, 1999. 165 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. 1999.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). Procel Avaliação. **Resultados das ações de eficiência energética**. Eletrobrás/Procel. DAAG. 2007.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.** Disponível em <http://www.eletronbras.com/elb/procel/main.asp>. Acesso em: 21 Junho 2010.

RAJA, I. A., NICOL, J. F., McCARTNEY, K. J., HUMPHREYS, M. A. Considering Thermal Comfort: use of controls in naturally ventilated buildings. **Energy and Buildings**, v.33, p. 235-244. 2001.

RIVERO, R. **Conforto Arquitetura e clima – Acondicionamento térmico natural.** 2ª. Ed. revisada e ampliada. Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores: Editora da Universidade, UFRGS, 1985.

ROHLES, F. H., KONZ, S. A., JONES, B. W. Ceiling fans as extenders of the Summer comfort envelop. **ASHRAE transactions**, 89 (1), p. 245-263. 1983.

ROHLES, F., WOODS, J., NEVINS, R. The effects of air movement and temperature on the thermal sensation of sedentary man. **ASHRAE Transactions**, 80 (1), p. 101-119. 1974.

ROMERO, M. A. **Conservação de Energia e o Projeto de Arquitetura: uma Análise Geral.** In: Sinopses n° 16, p. 5-9. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, Dezembro, 1991.

RORIZ, M. **Conforto térmico em edificações: um modelo matemático e uma aplicação.** Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. 185p. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - FAU, USP, São Paulo. 1996.

RORIZ, M. Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: uma hipótese de modelo adaptativo. In: Encontro Nacional Sobre Conforto no Ambiente Construído; Conferencia Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações, 2003. **Anais..** Curitiba, 2003.

ROSA, L. P., LOMBARDO, L. L. B. A crise de energia: uma reputação empírica do modelo econômico neoliberal. In: **O Brasil à luz do apagão.** Rio de Janeiro: Palavra e Imagem, 2001.

SCHEATZLE, D. G., WU, H., YELLOTT, J. Extending the summer comfort envelope with ceiling fans in hot, arid climates. **ASHRAE Transactions**, 95 (1), p. 269-280. 1989.

SCHIAVON, S., MELIKOV, A. K. Energy saving and improved comfort by increased air movement. **Energy and Buildings**, v. 40, p. 1954-1960. 2008.

SIMÕES, E. A. Q., TIEDEMANN, K. B. **Psicologia da percepção. Coleção Temas Básicos da Psicologia**. São Paulo: EPU. São Paulo, 1985.

SIMONELLA, A., PAU, I. How to design a building envelope to provide thermal comfort and energy efficiency considering climate change. Proceedings of **Adapting to Change: New Thinking on Comfort**, Windsor, UK. 2010.

STEIN, R. G., SERBER, D., Energy required for building construction. WATSON, D. (org.) **Conservation through building design**. New York: McGraw Hill, 1979.

STEVENS, D. **Mechanical ventilation for the home**. Home Energy Magazine Online. March/April 1996. Disponível em: <http://www.homeenergy.org/archive/hem.dis.anl.gov/eehem/96/960307.html>

SPAIN, K. S. **Energy saving in buildings using fans and allowing floating temperatures in room**. Ph.D. Dissertation, Department of Architecture, Texas, A&M University 1983.

_____. The Japan Times online. **Cool Biz returns to fight global warming**. The associate press, May 12. 2007. Disponível em: <http://search.japantimes.co.jp/cgi-bin/nn20070512a5.html>

TANABE, S., KIMURA, K. **Thermal comfort requirements under hot and humid conditions**. In: Proceedings of the first ASHRAE for east conference of air conditionings in hot climate. Singapore, 1987.

TANABE, S., KIMURA, K. Effects of air temperature, humidity, and air movement on thermal comfort under hot and humid conditions. In: **ASHRAE Transactions**, 100 (2), p. 953-969. 1994.

TOFTUM, J. A field study of draught complaints in the industrial work environment. In: **Proceedings of the Sixth International Conference on Environmental Ergonomics**. North York, p. 252-253. 1994.

TOFTUM, J. Air movement – good or bad? **Indoor Air**, v. 14, p. 40-45. 2004.

US DEPARTMENT OF ENERGY. Office of Energy efficiency and renewable energy. 2004 **Buildings Energy Data Book**. 116p. 2005.

VAN DER LINDEN, A. C., BOERSTRA, A. C., RAUE, A. K., KURVERS, S. R., DE DEAR, R. J., Adaptive temperature limits: a new guideline in the Netherlands – a new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate. **Energy and Buildings**, v.38, p8-17. 2006.

WEN, Y., LIAN, Z. Influence of air conditioners utilization on urban thermal environment. **Applied Thermal Engineering**. v.29, p. 670-675. 2009.

WILKENFELD, G. A National demand management strategy for small air conditioners. **National Appliance and Equipment Energy Efficiency Committee**. AGO. Canberra. 2004.

WILSON, A., MORRIL, J. **Consumer guide to home energy saving**. New Revised Edition. ACEEE – American Council for an Energy-Efficient Economy, USA, 275p., 1998.

WYON D. P. Enhancing productivity while reducing energy use in buildings. **Proceedings of the E-Vision 2000**, Department of Energy, Washington DC, 11-13 October 2000. Washington, DC: RAND Corporation. 2001.

XAVIER, A. A. P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis/SC**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. 209p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC. 1999.

XU, Z. G., GOTHAM, D. H. T., COLLINS, M. W., CONEY, J. E. R., SHEPPARD, C. G. W., MERDJANI, S. A numerical and experimental study of turbulent flow through the evaporator coil in an air-conditioning unit. **International Journal of Refrigeration**. v.19. p. 369-381. 1996.

YANG, X., ZHANG, Y. Modeling, assessment, and control of indoor air quality. **Building and Environment**, v. 43. Issue 3. p.237. March, 2008.

YOUNG, A. A. Thermal sensation during simultaneous warming and cooling at the forearm: a human psychophysical study. **Thermal Biology**, v.12, p. 243-247. 1987.

ZHANG, H., HUIZENGA, C., ARENS, E., YU, T. Considering individual physiological differences in a human thermal model. **Thermal Biology**, v.26, p. 401-408. 2001.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Calibração dos Equipamentos

Os equipamentos escolhidos para a realização do experimento de campo, além de pré-calibrados pelo fornecedor, foram submetidos a testes e comparações com outros equipamentos de mesma finalidade no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da UFSC. A Figura 0.1 apresenta os procedimentos adotados para a calibração dos equipamentos: da esquerda para a direita, equipamentos montados para uma comparação entre os sensores da estação BABUC e SENSU; Túnel de vento onde os sensores de velocidade do ar foram calibrados; Equipamento utilizado para o banho termostático na verificação dos sensores de temperatura.



Figura 0.1 – Equipamentos e os procedimentos adotados para a análise comparativa, calibração e conferência dos sensores.

Durante o experimento piloto, foram realizadas medições prévias para se testarem os sensores dos equipamentos, quando verificou-se que o sensor de velocidade do ar da estação SENSU estava sofrendo influência da temperatura radiante e resultando em alterações nas medições de globo. O aparelho foi encaminhado ao Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas (LMPT) para correção, e o sensor foi isolado da temperatura radiante através de uma capa de superfície polida. Em seguida, foi necessário encontrar uma nova curva de calibração que adequasse os valores encontrados em volts aos de velocidade do ar.

O sensor de velocidade do ar corrigido foi encaminhado ao túnel de vento localizado no Laboratório de Ciências Térmicas (LabTermo) para uma nova calibração. Nesta calibração, foram verificadas as diferenças de tensão entre os termistores quente (T_q) e frio (T_f), e os valores encontrados, juntamente com os valores de velocidade do ar

verificados no sensor tido como padrão do túnel de vento, apresentados na Tabela 0.1.

Tabela 0.1- Dados de velocidade do ar no túnel de vento, tensão do sensor de velocidade do ar do confortímetro SENSU e as diferenças (volts) entre as tensões 1 e 2 encontradas durante a calibração.

Valores registrados durante a calibração				
Medição	Var (m/s)	V1 - Tf (V)	V2 - Tq (V)	Dif. (V2-V1)
1	0,04	2,316	3,328	1,01
2	0,06	2,316	3,299	0,98
3	0,10	2,316	3,250	0,93
4	0,15	2,302	3,162	0,86
5	0,21	2,297	3,088	0,79
6	0,26	2,292	3,040	0,75
7	0,35	2,287	2,981	0,69
8	0,46	2,287	2,927	0,64
9	0,59	2,282	2,869	0,59
10	0,76	2,282	2,825	0,54
11	0,93	2,277	2,776	0,50
12	1,25	2,277	2,727	0,45
13	1,50	2,277	2,722	0,45
14	2,00	2,282	2,683	0,40
15	2,55	2,282	2,644	0,36
16	3,00	2,287	2,619	0,33
17	3,50	2,287	2,600	0,31
18	4,00	2,287	2,580	0,29
19	5,00	2,292	2,556	0,26

Com estes dados obteve-se uma equação de ordem 5 que pode ser observada na Figura 0.2. A curva obtida pela equação foi então inserida no software Aquis do confortímetro SENSU, que passou a registrar dados corretos de velocidade do ar. O mesmo procedimento foi realizado para a calibração do sensor de velocidade do ar do termoanemômetro portátil utilizado para o mapeamento das velocidades de ar nas salas de aula.

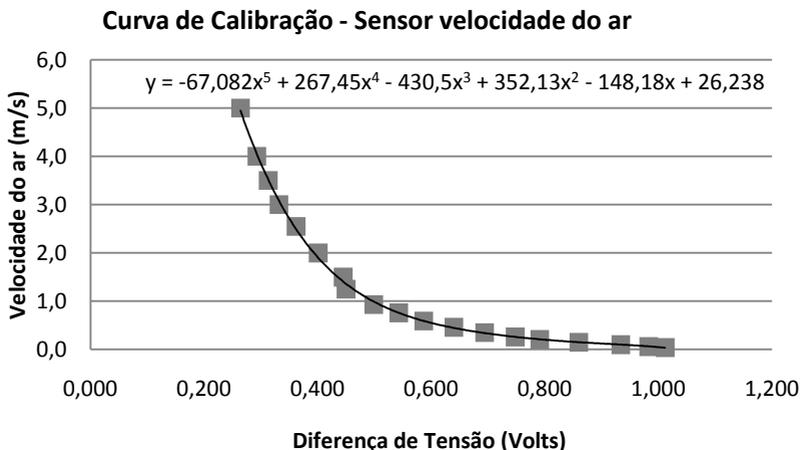


Figura 0.2 - Equação obtida através dos dados das medições realizadas no túnel de vento.

O sensor de temperatura da microestação climática SENSU também foi testado e submetido a banhos termostáticos no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas. Seus valores foram comparados aos de um termômetro de mercúrio imerso no mesmo recipiente, onde a temperatura oscilou de 26°C a 40°C. Os valores encontrados no sensor e no termômetro se mostraram aproximadamente iguais, com diferenças inferiores a 0,05°C, conduzindo-nos à confiança de seus resultados.

APÊNDICE B – Questionário



LabEEE

Este questionário faz parte de uma pesquisa científica do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, e destina-se à avaliação de conforto térmico e aceitabilidade do movimento e velocidade do ar dos ocupantes de salas de aula com ventiladores de teto localizadas no bloco de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina.

Mestranda:
Renata De Vecchi

Orientador:
Roberto Lamberts

1/2

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO E ACEITABILIDADE DO MOVIMENTO DO AR

A. DADOS PESSOAIS

Data:

Hora:

Idade:

Sexo:

Peso:

Altura:

A1. Vestimenta:

Por favor, indique quais peças de roupa você está usando agora:

Roupa de baixo e acessórios

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Calcinha | <input type="checkbox"/> Cueca |
| <input type="checkbox"/> Soutien | <input type="checkbox"/> Gravata |
| <input type="checkbox"/> Meia calça longa | <input type="checkbox"/> Camiseta de baixo manga curta |
| <input type="checkbox"/> Meia de nylon longa fina | <input type="checkbox"/> Camiseta de baixo manga longa |
| <input type="checkbox"/> Meia soquete grossa | <input type="checkbox"/> Sapato sola grossa |
| <input type="checkbox"/> Meia calça curta | <input type="checkbox"/> Sapato sola fina |
| <input type="checkbox"/> Meia soquete fina | <input type="checkbox"/> Botas |
| <input type="checkbox"/> Meia até o joelho | <input type="checkbox"/> Tênis |

Camisas e blusas

- | |
|---|
| <input type="checkbox"/> Camisa manga curta |
| <input type="checkbox"/> Camisa manga longa fina |
| <input type="checkbox"/> Camisa manga longa normal |
| <input type="checkbox"/> Camisa de flanela ou moletom |
| <input type="checkbox"/> Blusa leve fina, manga longa |
| <input type="checkbox"/> Blusa leve fina, manga curta |
| <input type="checkbox"/> Camiseta |

Casacos, Suéteres e Paletós

- | |
|---|
| <input type="checkbox"/> Colete sem mangas, fino |
| <input type="checkbox"/> Colete sem mangas, grosso |
| <input type="checkbox"/> Suéter manga longa, fino |
| <input type="checkbox"/> Suéter manga longa, grosso |
| <input type="checkbox"/> Jaqueta leve |
| <input type="checkbox"/> Jaqueta \Japona |
| <input type="checkbox"/> Paletó de verão \blazer |
| <input type="checkbox"/> Paletó |

Vestidos e Saias

- | |
|--|
| <input type="checkbox"/> Saia Leve, de verão |
| <input type="checkbox"/> Saia pesada, de inverno |
| <input type="checkbox"/> Vestido de verão, manga curta |
| <input type="checkbox"/> Vestido de inverno, manga longa |
| <input type="checkbox"/> Vestido fechado, completo |

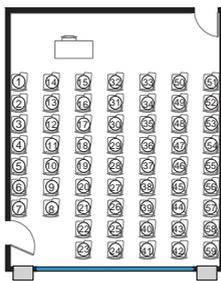
Calças

- | |
|--|
| <input type="checkbox"/> Calça curta, bermuda |
| <input type="checkbox"/> Calça tecido fino |
| <input type="checkbox"/> Calça grossa, lã ou flanela |
| <input type="checkbox"/> Calça Jeans |

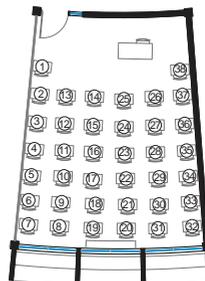
A2. Há quanto tempo você mora em Florianópolis?

A3. Localização:

Por favor, indique a sala e a posição em que você se encontra sentado(a):



Sala 02



Sala 03



Este questionário faz parte de uma pesquisa científica do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, e destina-se à avaliação de conforto térmico e aceitabilidade do movimento e velocidade do ar dos ocupantes de salas de aula com ventiladores de teto localizadas no bloco de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina.

Mestranda:
Renata De Vecchi

Orientador:
Roberto Lamberts

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO E ACEITABILIDADE DO MOVIMENTO DO AR

- Nesta etapa do questionário, marque suas respostas seguindo a sequência de horários conforme o momento certo indicado pelo pesquisador.
 - Não se esqueça de marcar apenas uma opção para cada questão, buscando sempre refletir sua percepção, preferência e avaliação térmica do ambiente de acordo com o momento indicado.
 - Todas as questões são de grande valia para a pesquisa. Qualquer dúvida, não hesite em chamar o pesquisador.

B. HÁBITOS E PREFERÊNCIAS PESSOAIS

B1. Como você se classifica? Frio Caloroso Normal

B2. Qual atividade você estava desenvolvendo meia hora antes de estar aqui?

B3. Se você pudesse escolher, qual dessas estratégias para climatização de ambientes você utilizaria?
 Ventilação Natural
 Ventilação Natural e Ventiladores
 Ar condicionado

B4. Qual a sua opinião sobre o uso de ventiladores de teto? Justifique se necessário.
 Incomoda
 Tanto faz
 Melhora o ambiente

B5. Você normalmente utiliza ar condicionado em ambientes internos? Se sim, responda à próxima pergunta (B6).
 Sim
 Não

B6. Quando e por quanto tempo você fica em ambientes com ar condicionado?

Local	Horas por dia
Em casa	
No carro	
No trabalho	

B7. Para você, qual o maior problema relacionado ao uso de ventiladores de teto?
 Ruído
 Velocidade do ar e voos de papéis

C. SENSACIONES TÉRMICAS

C1. Por favor, escolha a situação que melhor representa a maneira como você está se sentindo agora.

Com muito frio	<input type="checkbox"/>								
Com frio	<input type="checkbox"/>								
Levemente com frio	<input type="checkbox"/>								
Neutro	<input type="checkbox"/>								
Levemente com calor	<input type="checkbox"/>								
Com calor	<input type="checkbox"/>								
Com muito calor	<input type="checkbox"/>								

C1. Como você preferia estar se sentindo agora?
 Mais aquecido
 Não Mudar
 Mais resfriado

C2. Como você se sente neste momento em relação a velocidade do ar nesta sala?

Inaceitável	Muita velocidade do ar	<input type="checkbox"/>							
	Pouca velocidade do ar	<input type="checkbox"/>							
Aceitável	Pouca velocidade do ar	<input type="checkbox"/>							
	Suficiente velocidade do ar	<input type="checkbox"/>							
	Muita velocidade do ar	<input type="checkbox"/>							

C3. Qual a sua preferência em relação ao movimento do ar nesta sala? Você gostaria de...
 Mais velocidade do ar
 Não mudar
 Menos velocidade do ar

C4. Para você, este ambiente térmico é aceitável?
 Sim
 Não

C5. Quão confortável está a sala neste momento?
 Confortável
 Desconfortável

C6. Houve alguma mudança de vestimenta durante um horário e outro? Qual?

