

Universidade Federal de Santa Catarina  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Dissertação de Mestrado

**CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES DE ESCRITÓRIOS  
NATURALMENTE VENTILADOS: PESQUISA DE CAMPO NA CIDADE DE  
FLORIANÓPOLIS POR MEIO DA ABORDAGEM ADAPTATIVA**

Maíra Oliveira Pires  
Orientador: Fernando Simon Westphal

Florianópolis  
2015



MAÍRA OLIVEIRA PIRES

**CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES DE ESCRITÓRIOS  
NATURALMENTE VENTILADOS: PESQUISA DE CAMPO NA CIDADE DE  
FLORIANÓPOLIS POR MEIO DA ABORDAGEM ADAPTATIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.  
Orientador: Fernando Simon Westphal, Dr.

Florianópolis  
2015



Maíra Oliveira Pires

CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES DE ESCRITÓRIOS  
NATURALMENTE VENTILADOS: PESQUISA DE CAMPO NA CIDADE DE  
FLORIANÓPOLIS POR MEIO DA ABORDAGEM ADAPTATIVA

Esta dissertação foi julgada e aprovada perante banca examinadora de trabalho final, outorgando ao aluno o título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído, do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

---

Prof. Fernando Barth, Dr.

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Banca examinadora:

---

Prof. Fernando Simon Westphal, Dr.  
Orientador, UFSC

---

Prof. Fernando Oscar Rutt kay Pereira, PhD.  
UFSC

---

Prof. Roberto Lamberts, PhD.  
UFSC

---

Profª. Joana Carla Soares Gonçalves, PhD.  
USP

Florianópolis, 2015



*“Eu já estou com o pé nessa estrada. Qualquer dia a gente se vê. Sei que nada será como antes, amanhã”*

(Milton Nascimento)



## AGRADECIMENTOS

O sentimento de gratidão por estes dois anos de pesquisa é imenso e se estende a todas as pessoas maravilhosas que eu convivo em Florianópolis e à distância, que acompanharam essa montanha russa que nossas vidas se transformam ao escolhermos fazer pesquisa.

Agradeço ao meu amado companheiro, Igor, pelo carinho e companheirismo, sempre. Por me ouvir, me apoiar e me cuidar. A vida fica mais leve, e os desafios mais doces ao teu lado.

A minha família incrível, principalmente, meus pais: Jacqueline e Valmir, e irmãos: Mariana e Caetano pela confiança, apoio e compreensão devido a minha ausência e distância muitas vezes além da geográfica.

Ao meu orientador, Fernando Westphal, pela confiança depositada em mim e no meu trabalho, pela orientação e significativo aprendizado científico ao longo dessa pesquisa.

Aos grandes colegas de pesquisa do LabCon, cada um no seu trajeto, na sua estação de trabalho, mas sempre dispostos a um café gostoso em equipe. As meninas que já se foram, Catalina, Carolina, Lúcia e especialmente a Cínthia pelos valiosos conselhos. As novatas curiosas Marina e Bianca. As parceiras de angústia, Ana Paula e Gabriella. A companheira de estágio de docência, Silvana. E as doutoras e quase doutoras sempre prontas para mostrar a "luz", amadas *lightgirls* Raphaela, Letícia e Natália. Meu muito obrigada!

Aos professores do Programa, em especial Prof. Fernando R. Pereira e Prof. Eduardo Gonzales pela enorme contribuição dada ao meu trabalho no exame de qualificação e também pelos valiosos conselhos em conversas no laboratório no decorrer desses dois anos.

Ao pessoal do PPGEAC, minha parceira Elisa, pela companhia nos lindos trabalhos que fizemos nesse período; e aos doutorandos, Renata e Ricardo Rupp, meu muito obrigada pelos conselhos, visitas a campo, empréstimo de equipamentos, e sobretudo a troca de experiências sobre o tema.

Aos meus colegas de trabalho, Marcio, Mary, Thiele por entenderem minha ausência e especialmente ao Rodrigo pelos pensamentos e reflexões compartilhados sobre Arquitetura e pesquisa, além de todo seu empenho em me ajudar a escrever melhor.

Aos presentes da vida: Mary, Raquel e Ellis; e à dupla Angélica e Alexandra pelos momentos de descontração e amizade verdadeira.

E por fim, meu sincero agradecimento a todos que participaram da pesquisa, nos quatro ambientes analisados, pela disposição em contribuir para o levantamento de dados desse estudo.

## RESUMO

O modelo adaptativo de conforto térmico, em desenvolvimento desde a década de 70, e atualmente em uso nas normas ASHRAE Standard 55 (2013) e EN 15251 (2007) como método opcional destinado a ambientes naturalmente ventilados, propõe um olhar dinâmico sobre a pesquisa em conforto térmico, a partir do paradigma de que as pessoas são agentes ativos no estabelecimento do seu estado de conforto. O principal atributo do método é a determinação de intervalos de temperatura de conforto do ambiente interno a partir da temperatura externa predominante. A busca por maneiras de prever se uma determinada situação representa conforto ou desconforto tem sido objeto de estudo há anos e muitas pesquisas de campo têm sido realizadas em diferentes contextos climáticos a fim de produzir indicadores de conforto térmico que se correlacionem bem com as sensações térmicas das pessoas e suas rotinas. Nesse contexto, com o objetivo de investigar a aplicabilidade do modelo adaptativo de análise de conforto térmico a ambientes de escritórios naturalmente ventilados em Florianópolis, foi conduzida uma pesquisa de campo em escritórios localizados na região do campus da Universidade Federal de Santa Catarina por meio da abordagem adaptativa. A pesquisa em campo foi realizada em três períodos climáticos distintos, ameno, frio e quente, e compreendeu medições das variáveis ambientais internas (temperatura de globo, temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e velocidade do ar) e, ao mesmo tempo, a aplicação de questionários sobre percepção em relação ao ambiente térmico e sobre características e hábitos dos indivíduos. Com no mínimo sete dias de antecedência ao dia de estudo propriamente dito, um sensor externo monitorava temperatura externa do ar e umidade relativa externa. As medições foram realizadas no período de maio de 2014 a janeiro de 2015. Envolveram quatro ambientes distintos, 72 questionários aplicados, totalizando 455 votos de percepção térmica. Os resultados foram discutidos e apresentados em forma de gráficos e tabelas através do cruzamento entre os dados microclimáticos e as respostas dos usuários, e mostraram uma alta aceitabilidade da população pesquisada em relação ao seu ambiente térmico, 89%. No entanto, 21% dos votos de aceitabilidade estão abaixo do limite de 80% de aceitabilidade determinado pela ASHRAE Standard 55 (2013). Esse fato pode ser

observado em condições de baixas temperaturas e sugere que os indivíduos pesquisados apresentam uma maior adaptabilidade ao ambiente térmico possivelmente em decorrência do contexto climático de Florianópolis.

**Palavras-chave:** conforto térmico, ventilação natural, abordagem adaptativa, escritórios, Florianópolis.

## ABSTRACT

The adaptive model of thermal comfort, in development since the 70s, and currently in use in standards EN 15251-2007 and ASHRAE 55-2013 as an optional method for the naturally ventilated environments, proposes a dynamic look at the research in thermal comfort, from the paradigm that people are active agents in the establishment of their state of comfort. The main attribute of this approach is the determination of thermal comfort temperature ranges of the internal environment from the outdoor air temperature. The search for ways to predict whether a particular situation brings comfort or not has been studied for years and many field surveys have been conducted in different climatic contexts to produce thermal comfort indexes that correlate well with the thermal sensations of people and their routines. In this context, in order to investigate the application of adaptive model of thermal comfort analysis to office spaces naturally conditioned in Florianópolis, a field study was conducted in office rooms in the region of the campus of the Federal University of Santa Catarina through the adaptive approach. The field survey was conducted in three distinct climatic periods, mild, cold and hot, and included measurements of internal environmental variables (globe temperature, air temperature, relative humidity and air velocity), at the same time with application of questionnaires on perception of thermal environment, characteristics and habits of subject were applied. With at least seven days prior to the study day, an external sensor monitored outdoor external air temperature and relative humidity. The field survey was carried out from May 2014 to January 2015, involved four different places, 72 subjects, totaling 455 votes of subject thermal perception. The results were discussed and presented in graphs and tables through the intersection between the microclimate data and subject responses, and showed high acceptability of the population investigated in relation to their thermal environment, 89%. However, 21% of the acceptability votes are below the 80% limit of acceptability determined by ASHAE Standard 55 (2013). This fact can be observed in conditions of low temperature and suggests that people have greater adaptability to thermal environment possibly due to the climatic context of Florianópolis.

**Keywords:** thermal comfort, natural conditioning, adaptive approach, offices, Florianópolis.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação sujeito – clima – edificação, baseado em Nicol et al. (2012, p. 68) .....	35
Figura 2 - PPD (Porcentagem prevista de insatisfeitos) em função do PMV (Voto médio predito).....	46
Figura 3 - Intervalos de temperatura interna aceitável (Temp. operativa) para ambientes naturalmente ventilados.....	50
Figura 4 - Intervalos de temperaturas operativas aceitáveis para ambientes naturalmente condicionados (EN 15251, 2007).....	52
Figura 5 – Temperatura de Conforto calculada a partir da média mensal externa (Monthly mean outdoor temperature).....	59
Figura 6 - Temperatura exterior predominante para diferentes métodos de cálculo. ....	70
Figura 7 - Dados de TBS Externa para Florianópolis.....	74
Figura 8 - Dados de Umidade Relativa para Florianópolis .....	74
Figura 9 - Velocidade do ar para Florianópolis.....	75
Figura 10 - Direção dos ventos para Florianópolis .....	75
Figura 11- Temperaturas de conforto referente as principais formulações do modelo adaptativo a partir das médias mensais externas ( <i>Monthly mean outdoor temperature</i> ). ....	76
Figura 12 - Localização das edificações monitoradas.....	78
Figura 13 – Planta baixa do escritório dos experimentos 01, 02, 06 e 08   No bairro Trindade em Florianópolis .....	82
Figura 14 - Escritório 01, no bairro Trindade   Estudo 06, em 04 de dezembro de 2014 .....	82
Figura 15 – Planta baixa do escritório do experimento 03   No bairro Trindade em Florianópolis.....	84
Figura 16 - Escritório 02, no bairro Trindade   Estudo 03, em 20 de junho 2014.....	84
Figura 17 – Planta baixa do escritório do experimento 04   No bairro Trindade em Florianópolis.....	85
Figura 18 - Escritório 03, no bairro Trindade   Estudo 04, em 09 de julho de 2014.....	86
Figura 19 – Planta baixa do escritório dos experimentos 05 e 07   No bairro Córrego Grande em Florianópolis .....	87
Figura 20 – Escritório 04, no bairro Córrego Grande   Estudo 07, em 05 de dezembro de 2014 .....	87

Figura 21 – Localização da estação microclimática SENSU .....	89
Figura 22 - Temperatura do ar dos equipamentos HOBO Onset.....	91
Figura 23 - Procedimento de medição preliminar .....	92
Figura 24 - Datalogger externo (HOBO Onset) e caixa de proteção para uso do equipamento em ambiente externo .....	92
Figura 25 - Procedimento de medição no período da manhã .....	94
Figura 26 - Procedimento de medição no período da tarde.....	95
Figura 27 – Temperatura de Bulbo Seco medida in loco (Ed. 01– Trindade) e TBS medida pela estação A806 do INMET localizada em Capoeiras - Dia 21/ 05 / 2014 .....	96
Figura 28 - Temperatura de Bulbo Seco medida in loco (Ed. 01 – Trindade) e TBS medida pela estação A806 do INMET localizada em Capoeiras - Dia 22 / 05 / 2014.....	96
Figura 29 - Localização dos questionários aplicados no período da manhã – Experimento 05, dia 28/07/2014 .....	97
Figura 30 - Localização dos questionários aplicados no período da tarde – Experimento 05, dia 28/07/2014 .....	97
Figura 31 - Distribuição da população investigada por gênero e média de idade para cada ambiente investigado .....	109
Figura 32 - Frequência de ocorrência das temperaturas externa e internas monitoradas e calculadas no período ameno .....	110
Figura 33 - Frequência de ocorrência das temperaturas externa e internas monitoradas e calculadas no período frio .....	112
Figura 34 - Frequência de ocorrência das temperaturas externa e internas monitoradas e calculadas no período quente .....	112
Figura 35 - Temperatura do ar e umidade relativa externa e interna para todos os levantamentos em campo.....	114
Figura 36 – Votos de aceitabilidade ao ambiente térmico para toda a população pesquisada .....	118
Figura 37 – Votos de aceitabilidade Térmica de toda população pesquisada em relação aos intervalos da norma EN 15251 (2007)....	119
Figura 38 - Distribuição dos votos de aceitabilidade térmica em relação à temperatura operativa.....	121
Figura 39 - Comportamento esperado da relação entre votos de aceitabilidade térmica e temperatura operativa.....	121
Figura 40 - Distribuição dos votos de sensação térmica seccionados por períodos da pesquisa: ameno, frio e quente .....	123

Figura 41 - Frequência de ocorrência dos votos de sensação térmica por período da pesquisa: ameno, frio e quente .....	123
Figura 44 - Frequência de ocorrência dos votos de sensação térmica para os oito levantamentos em campo e temperatura operativa média de cada experimento, no turno da manhã.....	125
Figura 45 - Frequência de ocorrência dos votos de sensação térmica para os oito levantamentos em campo e temperatura operativa média de cada experimento, no turno da tarde .....	125
Figura 44 - Comportamento esperado dos votos de preferência térmica .....	128
Figura 45 – Votos absolutos de preferência térmica de toda a pesquisa em relação a temperatura operativa .....	128
Figura 46 - Frequência de ocorrência dos votos de preferência térmica conforme escala de McIntyre por período da pesquisa: ameno, frio e quente .....	129
Figura 47 - Frequência de ocorrência dos votos de preferência térmica conforme a escala sétima da ASHRAE por período da pesquisa: ameno, frio e quente.....	130
Figura 48 - Isolamento da vestimenta por período da pesquisa: ameno, frio e quente.....	134
Figura 49 – Votos de aceitabilidade ao ambiente térmico classificados por isolamento da vestimenta no período ameno da pesquisa.....	135
Figura 50 – Votos de aceitabilidade ao ambiente térmico no período frio da pesquisa classificados por isolamento da vestimenta .....	136
Figura 51 – Votos de não aceitabilidade ao ambiente térmico no período frio da pesquisa classificados por isolamento da vestimenta .....	137
Figura 52 - Votos de sensação térmica classificados por nível de isolamento da vestimenta nos períodos ameno e frio da pesquisa ...	138
Figura 53 – Votos de não aceitabilidade ao ambiente térmico classificados por intervalos de umidade relativa interna no período quente da pesquisa .....	141
Figura 54 - Votos de sensação térmica do período quente da pesquisa, classificados por faixa de umidade.....	142
Figura 55 - Frequência de ocorrência de velocidade do ar no período quente da pesquisa .....	143
Figura 56 - Sensação em relação à movimentação do ar para os períodos ameno, frio e quente da pesquisa.....	144

Figura 57 – Votos de sensação térmica classificados por intervalos de velocidade do ar no período quente da pesquisa.....	145
Figura 58 – Votos de não aceitabilidade ao ambiente térmico classificados por intervalos de velocidade do ar no período quente da pesquisa .....	146
Figura 59 - Distribuição geral dos votos de sensação térmica médios em relação a temperatura operativa para todo o estudo, linha de temperatura neutra e intervalos de conforto térmico .....	147
Figura 60 - Distribuição dos votos de sensação térmica médios do período ameno da pesquisa em relação à temperatura operativa e linha de temperatura neutra .....	149
Figura 61 - Distribuição dos votos de sensação térmica médios do período frio da pesquisa em relação à temperatura operativa e linha de temperatura neutra .....	149
Figura 62 - Distribuição dos votos de sensação térmica médios do período quente da pesquisa em relação à temperatura operativa e linha de temperatura neutra .....	150
Figura 63 - Distribuição dos votos de sensação térmica médios do período quente da pesquisa, excluindo cinco valores observados como inconsistentes, em relação à temperatura operativa e linha de temperatura neutra .....	151
Figura 64 – Linha de temperatura interna de conforto (temperatura operativa) em função da temperatura exterior predominante, considerando os votos médios de sensação térmica neutra (VST=0)	153
Figura 65 - Linha de temperatura interna de conforto (temperatura operativa) em função da temperatura exterior predominante, considerando os votos médios de sensação térmica entre -1 e 1.....	153
Figura 66 - Linhas de temperatura de conforto em função da temperatura operativa e temperatura exterior predominante para o presente estudo e principais estudos desenvolvidos segundo a abordagem adaptativa.....	155
Figura 67 - Aceitabilidade ao ambiente térmico para toda a população pesquisada e intervalos de conforto da ASHRAE Standard 55 (2013) e do presente estudo.....	158
Figura 68 - Uso de controle de conforto térmico nos ambientes pesquisados .....	160
Figura 69 - Tipos de controle de conforto térmico utilizados nos três períodos da pesquisa .....	161

Figura 70 - Temperaturas médias horárias medidas em 23 de maio de 2014.....	162
Figura 71 - Temperaturas médias horárias medidas em 04 de dezembro de 2014.....	163
Figura 72 - Temperaturas médias horárias medidas em 20 de junho de 2014.....	164
Figura 73 - Temperaturas médias horárias medidas em 09 de julho de 2014.....	165
Figura 74 - Temperaturas médias horárias medidas em 28 de julho de 2014.....	166
Figura 75 - Temperaturas médias horárias medidas em 05 de dezembro de 2014.....	166



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala de Sensação Térmica. Adaptado de: FANGER, 1970.	45
Tabela 2 - TBS Média para a cidade de Florianópolis.....	73
Tabela 3 - Desvios existentes entre os equipamentos do tipo HOBO Onset .....	90
Tabela 4 - Temperatura e limites de conforto térmico.....	99
Tabela 5 - Escala sétima de sensação térmica da ASHRAE.....	102
Tabela 6 - Resumo dos dados coletados em campo .....	108
Tabela 7 – Votos de aceitabilidade ao ambiente térmico e conformidade com as normas ASHRAE Std. 55 (2013) e EN 15251 (2007) .....	117
Tabela 8 - Valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre voto de sensação térmica, isolamento da vestimenta (parâmetro pessoal) e variáveis ambientais internas.....	131
Tabela 9 - Valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre voto de sensação térmica, isolamento da vestimenta (parâmetro pessoal), temperatura do ar interna e variáveis ambientais externas.....	131
Tabela 10 - Valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre as variáveis independentes (parâmetros ambientais e isolamento da vestimenta e o voto de sensação térmica (como variável dependente) .....	132
Tabela 11 - Temperatura Neutra em relação a temperatura operativa e suas atribuições para toda a população pesquisada.....	147
Tabela 12 - Temperatura neutra em relação a temperatura operativa e suas atribuições por período da pesquisa.....	151



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição da aplicabilidade das categorias usadas pela EN 15251 (2007) .....	51
Quadro 2 - Categorias de adaptação segundo De Dear et al. (1997)....	53
Quadro 3 - Aplicabilidade do método adaptativo nas normas ASHRAE Standard 55 (2013) e EN 15251 (2007) .....	54
Quadro 5 – Resumo das pesquisas de campo realizadas em escritórios .....	64
Quadro 6 - Ajuste do voto de preferéncia térmica inquirido por meio da escala sétima para a escala de McIntyre.....	103



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$t_a$  = Temperatura do ar (°C)

$t_{e(d-1)}$  = Temperatura média do dia anterior

$t_{e(d-2)}$  = Temperatura média do dia anterior ao  $t_{e(d-1)}$ , e assim por diante.

$t_o$  = Temperatura Operativa (°C)

$t_r$  = Temperatura radiante média (°C)

$v_a$  = Velocidade do ar (m/s)

$clo$  = Unidade representativa de isolamento da vestimenta (equivalente a  $0,1555\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}$ )

EPW = *EnergyPlus weather data*

INMET = Instituto Nacional de Meteorologia

$met$  = Unidade representativa de taxa metabólica (equivalente a  $58,2\text{W/m}^2$ )

PMV = Voto médio estimado

PPD = Percentual de pessoas insatisfeitas

$r$  = Coeficiente de correlação

$R^2$  = Coeficiente de determinação

SCAT = *Smart Controls and Thermal Comfort*

TBS = Temperatura de bulbo seco

Tconf = Temperatura de conforto

Tg = Temperatura de globo

Tlim = Limite de conforto

Tm = Temperatura média externa mensal

Tme = Temperatura média exponencial ponderada (*exponentially weighted running mean temperature*)

Tn = Temperatura neutra ou temperatura interior preferível

UR = Umidade relativa

VST = Voto de sensação térmica

$I_{cl}$  = Isolamento da Vestimenta



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	31
1.1	Justificativa .....	31
1.2	Objetivos .....	36
1.2.1	Objetivo Geral .....	36
1.2.2	Objetivos Específicos.....	36
1.3	Estrutura do trabalho .....	37
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	39
2.1	Edificações naturalmente ventiladas .....	39
2.2	Conforto térmico.....	42
2.3	Modelo adaptativo de análise de conforto térmico.....	47
2.3.1	Variáveis contextuais da abordagem adaptativa.....	52
2.3.2	Aplicabilidade do modelo adaptativo de conforto térmico nas normas ASHRAE Standard 55, EN 15521 e projeto de norma brasileira de conforto térmico .....	54
2.3.3	Pesquisa de campo.....	56
2.3.4	Aplicação da abordagem adaptativa em pesquisas recentes	60
2.4	clima externo e contexto ambiental interno.....	64
2.5	SÍNTESE DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	70
3.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	71
3.1	Caracterização do clima de Florianópolis.....	71
3.2	Pesquisa de campo.....	77
3.2.1	Ambientes analisados.....	77
3.2.2	Instrumentos de medição .....	88
3.2.3	Questionário.....	91
3.2.4	Procedimento de medição .....	91
3.3	Tratamento dos dados .....	96

3.4	Análise dos dados.....	100
3.4.1	Aceitabilidade Térmica.....	100
3.4.2	Sensação Térmica.....	101
3.4.3	Preferência Térmica .....	102
3.4.4	Análise de influência de parâmetros pessoais e ambientais	103
3.4.5	Temperatura neutra da amostra pesquisada ..	104
3.4.6	Uso das oportunidades adaptativas.....	105
3.4.7	Particularidades das edificações e seus usuários na promoção de conforto térmico.....	106
4	RESULTADOS.....	107
4.1	População pesquisada.....	109
4.2	Variáveis ambientais .....	110
4.3	Percepção do usuário em relação ao ambiente térmico	116
4.3.1	Aceitabilidade térmica .....	116
4.3.2	Sensação térmica .....	122
4.3.3	Preferência térmica.....	126
4.4	Análise de influência de parâmetros pessoais e ambientais	130
4.4.1	Vestimenta .....	133
4.4.2	Umidade relativa do ar .....	139
4.4.3	Velocidade do ar .....	142
4.5	Temperatura neutra da amostra pesquisada .....	146
4.5.1	Efeito do período da pesquisa (estação) na temperatura neutra	147
4.5.2	Temperatura neutra e temperatura externa...	151
4.5.3	Comparativo entre os modelos adaptativos de conforto vigentes nas normas .....	157
4.6	Uso das oportunidades adaptativas.....	159

4.7	Particularidades das edificações e seus usuários na promoção de conforto térmico .....	161
5.	CONCLUSÕES .....	167
5.1	Limitações do trabalho .....	169
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	170
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	173
	APÊNDICE .....	179
	APÊNDICE A - Questionário .....	179
	APÊNDICE B - Regressões lineares entre as variáveis ambientais, pessoais e sensação térmica .....	184
B.1	Variáveis internas – Período ameno .....	185
B.2	Variáveis internas – Período frio .....	186
B.3	Variáveis internas – Período quente .....	187
B.6	Variáveis externas – Período frio .....	190
B.7	Variáveis externas – Período quente .....	191



## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 JUSTIFICATIVA

Garantir o conforto térmico é um dos desafios enfrentados por arquitetos e engenheiros ao projetar edificações, dentre muitos outros como relata Rivero:

*“[...] não fazemos arquitetura se somente enfocamos unilateralmente os problemas físicos, ou os funcionais, ou os estéticos, ou os econômicos; será arquitetura, e daí sua enorme complexidade, na medida em que sejam solucionadas integralmente todas as exigências que cercam o indivíduo, devidamente ponderada com o tema de estudo.”(RIVERO,1985, p. 13)*

Ao garantir o conforto térmico pode-se melhorar a produtividade e assegurar espaços mais saudáveis aos seus usuários. Há tempos, o estudo de conforto térmico não pode ser dissociado do conceito de eficiência energética na arquitetura, já que, a eficiência energética é uma característica inerente à edificação e representa seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia.

A arquitetura adequada ao clima pode reduzir significativamente o consumo de energia nas edificações. Pedrini e Szokolay (2005), em um estudo de ambientes de escritórios por meio de simulação computacional, constataram que as decisões arquitetônicas podem ser mais influentes do que as decisões pertinentes à instalação predial, já que o consumo de energia pode variar em 72%, entre a pior e a melhor combinação de variáveis arquitetônicas, enquanto o uso de sistemas prediais, como ar-condicionado com eficiências diferentes têm um impacto de 47%. Nesse estudo foram avaliadas 11 variáveis de projeto: orientação; profundidade da sala; pé-direito; fração de janela na parede; ângulo vertical do sombreamento externo; ângulo horizontal do sombreamento externo; tipo de vidro; características das paredes; uso de iluminação natural com controle de cortinas; tipos de ventilação (ativa ou passiva); e tipos de instalação predial (iluminação e condicionamento artificiais eficientes ou com baixa eficiência).

Conforme os dados apresentados pelo Relatório Final do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2014) as edificações residenciais, comerciais e do setor público foram responsáveis por 48% do consumo de energia elétrica no país, sendo que, no último ano de referência, o aumento do consumo final de eletricidade foi superior ao crescimento da energia elétrica disponibilizada. O mesmo relatório traz indícios da necessidade de se adotar medidas de redução do consumo de energia no país frente à preservação de uma matriz energética de menor impacto ambiental e social, já que as alterações sofridas na matriz em decorrência das condições hidrológicas desfavoráveis do último ano mostram o crescimento da participação da geração termoeletrica em 31%, enquanto a geração hidráulica reduziu 5,4%. A crise no abastecimento de água que a região sudeste vem enfrentando (desde o início de 2014), também mostra a necessidade de ações em diferentes vias, desde o âmbito da redução do consumo de energia elétrica em edificações, até no que diz respeito a políticas nacionais de geração de energia por fontes renováveis.

Grande parte do consumo energético das edificações se dá em decorrência do aumento no uso de equipamentos de condicionamento de ar. Santamouris (2007) destaca cinco fatores que intensificaram o processo de expansão do uso desses equipamentos nos últimos anos:

- a) Produção arquitetônica massificada, que não considera questões climáticas locais e resulta em um aumento na demanda de energia nos períodos quentes;
- b) Aumento da temperatura, particularmente em ambientes urbanos, devido ao fenômeno de Ilha de Calor;
- c) Mudanças na "cultura do conforto", comportamento de consumo e expectativas;
- d) Melhorias nos padrões de vida e aumento do poder aquisitivo;
- e) Aumento das cargas internas do edifício.

Nos ambientes de escritórios, os fatores que estão associados ao consumo de energia elétrica são: condicionamento de ar, iluminação e equipamentos como computadores e impressoras. Em Florianópolis, cidade escolhida para o desenvolvimento do estudo, esses ambientes configuram-se em diferentes tipologias arquitetônicas de acordo com a região. Conforme Tamanini e Ghisi (2013) 75% dos edifícios de

escritórios com ocupação iniciada entre 2004 e 2012 localizavam-se na área central insular e na Bacia do Itacorubi, região que compreende os dois bairros abordados no presente trabalho: Trindade e Córrego Grande. Segundo o mesmo levantamento de Tamanini e Ghisi (2013) a tipologia mais representativa de edifícios de escritórios na região da Trindade é a de saletas. Diferente da região central da cidade que apresenta um número mais significativo de edifícios com planta livre.

A produção de uma edificação que respeite as necessidades do homem em relação a seu conforto térmico e eficiência energética requer estudos mais específicos durante a fase de elaboração do projeto arquitetônico, envolvendo questões como conhecimento do clima local, estabelecimento de critérios e métodos de análise de conforto ambiental e análise de desempenho ambiental por meio de medição in loco e/ou simulação computacional. Para Rivero (1985) é indiscutível a importância da condição térmica do meio na definição das características da envolvente da edificação, considerando a existência de três elementos principais – o meio, o homem e a envolvente. A compreensão das inter-relações entre eles é necessária para ajudar na tomada de decisão sobre a orientação e forma dos volumes e sobre a utilização racional dos materiais de construção. Tendo em vista que existem limitações, como a ocorrência de condições climáticas extremas ou um programa de necessidades restrito, a necessidade de uso de sistemas ativos de climatização é presente, mas ainda assim é possível reduzir os custos em equipamentos e em energia elétrica mediante um bom projeto arquitetônico adequado ao clima.

A compreensão do conceito de conforto térmico, assim como a busca por maneiras de prever se uma determinada situação representa conforto ou desconforto tem sido objeto de estudo há mais de 50 anos. De uma forma geral, são polarizados em duas frentes: a perspectiva estática e a perspectiva adaptativa; ambas trazidas nas principais normas de conforto térmico em uso atualmente. Dessa forma, a ASHRAE Standard 55 (2013), ISO 7730 (2005) e EN 15251 (2007) trazem o uso da perspectiva estática, o PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage of dissatisfied*) como principal método de predição de conforto térmico em edificações. Para ambientes que apresentam o uso de janelas operáveis por seus ocupantes como principal estratégia de controle de conforto térmico, a ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013) e a EN15251 (CEN, 2007) propõem o uso do modelo adaptativo de

análise de conforto térmico como forma opcional. O modelo adaptativo é abordado nessas normas como “forma de determinar condições ambientais aceitáveis para ambientes naturalmente ventilados” (Standard ASHRAE 55:2013, p.12) e “temperaturas internas aceitáveis para projeto de edificações sem ventilação mecânica” (No. EN 15251:2007, p. 27).

A introdução do modelo adaptativo de conforto térmico em normas de conforto é recente, e tem um importante papel na busca por edificações energeticamente mais eficientes, já que para as especificidades de estudo conduzido por Nicol e Humphreys (2002), as edificações naturalmente ventiladas geralmente utilizam metade da energia utilizada por uma condicionada artificialmente. Considerando que a temperatura de conforto em um ambiente naturalmente condicionado está em constante mudança de acordo com o ambiente externo, uma norma baseada na temperatura interna variável, no lugar de uma norma com temperatura de conforto constante, pode ajudar a economizar energia elétrica e estimular o uso da ventilação natural. Além disso, a relação entre clima externo e temperatura interna pode auxiliar no projeto de edificações mais confortáveis, já que pode indicar quando o aquecimento ou resfriamento passivo é possível de ser aplicado.

Assim, o conhecimento de limites e condicionantes de conforto térmico mais coerentes às preferências da população florianopolitana e ao clima da cidade proporcionado por esta pesquisa pode auxiliar no desenvolvimento de projetos arquitetônicos energeticamente mais eficientes. Conforme Sharma e Sharafat (1986), um indicador de conforto térmico deve se correlacionar bem com as sensações térmicas das pessoas e suas rotinas, pois condições ambientais equivalentes podem produzir diferentes reações subjetivas, devido ao nível de adaptação do usuário ao ambiente, padrões culturais etc. Dessa forma, os resultados empíricos de pesquisas de campo podem auxiliar nas escolhas de projeto que reflitam o clima e a cultura local (NICOL, 2004).

A abordagem adaptativa de análise de conforto térmico vai ao encontro de um projeto arquitetônico de alta qualidade ambiental e de baixo consumo energético, já que parte da interação dos principais atributos desse sistema: o clima externo, o contexto da edificação e sua forma, e as pessoas (NICOL et al., 2012). Esse sistema é ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Relação sujeito – clima – edificação, baseado em Nicol et al. (2012, p. 68)



Referência: Nicol et al. (2012, p.68)

A aplicabilidade do modelo adaptativo nas normas ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013) e EN 15251 (CEN, 2007) apresenta alguns pontos divergentes como as limitações impostas pela ASHRAE Standard 55 (2013) de aplicação para temperaturas externas entre 10°C e 33,5°C e limite de vestimenta entre 0,5 clo e 1,0 clo. No entanto, em comum ambas as normas estabelecem que o ambiente deve ser equipado com janelas operáveis que estejam sempre disponíveis aos ocupantes e a atividade metabólica dos ocupantes deve ser entre 1,0 *met* e 1,3 *met*. Segundo a ISO 7730 (2005), a taxa metabólica referente à atividade sedentária de escritórios é de 1,2 *met*, valor dentro da faixa de aplicabilidade do modelo.

Esta pesquisa é motivada por três questões norteadoras relacionadas ao contexto climático e as preferências térmicas de

usuários de ambientes de escritórios naturalmente condicionados em Florianópolis:

- a) As edificações com uso destinado a escritórios possibilitam o aproveitamento das condições climáticas para promover conforto ambiental? Existe ventilação natural adequada?
- b) O modelo de conforto térmico destinado a ambientes naturalmente ventilados, em uso nas normas ASHRAE Standard 55, EN 15251 e projeto de norma brasileira que será incorporado a NBR 16401/2, refletem as condições climáticas de Florianópolis, preferências térmicas dos usuários em ambientes de escritórios naturalmente ventilados e características desses ambientes? Levanta-se essa questão pois essas normas estão baseadas em pesquisas de campo realizadas em diversos países com diferentes contextos climático e cultural.
- c) A visão de um modelo de conforto térmico, o modelo adaptativo, que abre mão de fatores conhecidos de conforto como umidade do ar, velocidade do ar e isolamento da vestimenta responde ao contexto florianopolitano? Considerando que, por exemplo, a umidade relativa média em Florianópolis é de 80% e que altos índices de umidade tendem a dificultar a perda de calor por evaporação, a influência da umidade do ar na percepção térmica não deveria ser considerada?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é investigar a aplicabilidade do modelo adaptativo de análise de conforto térmico a ambientes de escritórios naturalmente condicionados em Florianópolis.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar se é possível avaliar o conforto térmico de um ambiente apenas pela sua temperatura operativa;

- b) Caracterizar a influência de outros parâmetros (temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do ar, temperatura radiante média e isolamento da vestimenta) na percepção térmica dos indivíduos;
- c) Determinar a temperatura neutra dos ambientes pesquisados e identificar a influência da sazonalidade na temperatura neutra;
- d) Compor a temperatura de conforto em função do clima externo para a amostra pesquisada e compará-la com as equações de conforto térmico mais expressivas da abordagem adaptativa;
- e) Identificar qualitativamente como ocorre a interação do usuário com o ambiente em busca do conforto térmico, assim como apontar as “oportunidades adaptativas” dos ambientes em estudo.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos: O primeiro apresenta uma introdução sobre o assunto, caracterizando o problema estudado e descrevendo os objetivos buscados. O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica, onde são abordados os seguintes temas: edificações passivas; conforto térmico; modelo adaptativo de análise de conforto térmico que envolve variáveis contextuais da abordagem adaptativa, aplicabilidade do modelo adaptativo; pesquisa de campo e caracterização do clima externo. O terceiro trata do método da pesquisa, onde o clima de Florianópolis é caracterizado; apresenta-se a estrutura da pesquisa de campo realizada e o método proposto para as análises dos dados coletados a fim de alcançar os objetivos desta pesquisa. O quarto é referente à discussão dos resultados, em que as variáveis ambientais, percepções dos indivíduos em relação ao seu ambiente térmico e observações de campo são confrontados e debatidos. O quinto traz as conclusões, as limitações do trabalho e sugestões para trabalhos futuros. No final do trabalho são apresentadas as referências bibliográficas, bem como os apêndices.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 EDIFICAÇÕES NATURALMENTE VENTILADAS

O uso de estratégias passivas de condicionamento para os períodos de calor pode ser uma resposta da arquitetura à necessidade de viabilizar edificações energeticamente mais eficientes, já que a ventilação natural, por exemplo, pode contribuir para a redução das necessidades energéticas sem prejuízo ao conforto do usuário (térmico e visual), bem como da qualidade do ar (proporcionando renovação de ar adequada). A ventilação natural deve ser pensada de forma integrada ao projeto do edifício, a fim de ser mais facilmente reconhecida e apropriada pelo usuário. Conforme Bittencourt e Cândido (2005), a ventilação é apontada, frequentemente, como a estratégia bioclimática mais eficiente para obtenção de conforto térmico nos espaços urbanos e arquitetônicos. Além disso, o alcance social dessa estratégia é indiscutível. Nicol et al. (2012) ressaltam ainda que uma edificação passiva é aquela que determina as condições de clima interno por meio de sua orientação, massa, aberturas, sombreamento, insolação, materiais e estratégias passivas de projeto em geral. Segundo eles, essa edificação proporciona condições dinâmicas de microclima interno e que, a não ser que seja uma edificação de uso zero de energia, irá ser aquecida ou resfriada artificialmente ao menos em uma parte do ano de acordo com as condições climáticas a que está submetida.

A ventilação natural se apresenta como uma importante estratégia bioclimática na busca de conforto térmico para localidades que apresentam clima quente e úmido, já que o movimento do ar favorece as trocas de calor entre a pele e o meio, por meio da convecção e evaporação.

A remoção de carga térmica da edificação por meio da ventilação natural contribui também com a redução do consumo de energia decorrente da utilização de sistemas de condicionamento de ar. Enquanto estratégia de condicionamento passivo das edificações com a finalidade de proporcionar conforto térmico aos ocupantes, a ventilação natural pode atuar também no resfriamento estrutural da edificação aliado à inércia térmica. A influência da inércia térmica e da ventilação natural como processos de condicionamento passivo e suas implicações no conforto térmico dos ocupantes são investigados em Goulart (2004).

Os processos responsáveis pela troca de ar entre o ambiente externo e interno de uma edificação são as componentes térmica e eólica, que são determinadas por diferença de temperaturas e diferença de pressão entre os meios, respectivamente. Elementos como a densidade da área urbana; largura e altura dos edifícios; orientação das ruas e avenidas; disposição, dimensão e traçado de espaços abertos e áreas verdes são determinantes na ação dos ventos, principalmente no que tange às abordagens em nível urbano (mesoclima) e do edifício (microclima). Um erro frequente na avaliação do fluxo de ar no interior de uma construção provém da falta de conhecimento do efeito das construções vizinhas no movimento de ar. O tecido urbano pode reduzir drasticamente a velocidade do vento devido à alta rugosidade da estrutura urbana e a deflexões causadas por estruturas maciças. O arranjo das construções, suas configurações e a presença de obstáculos externos também representam papel relevante na modificação do perfil do vento (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005, p. 46).

O arranjo desses elementos do entorno caracterizam o conceito de rugosidade. Diferentemente, as variações de velocidade de um escoamento decorrentes deste cenário chama-se turbulência. O conceito da teoria da mecânica dos fluidos é a base para avaliação do fenômeno da ventilação e possibilita dimensionar, definir orientação e localização de aberturas e conhecer as barreiras a serem encontradas pelo vento. Para isso existem diversos métodos de cálculo e simulação do fenômeno para avaliar as condições de ventilação natural em um determinado ambiente (PRATA, 2005).

Estudos recentes têm buscado comprovar a necessidade de se controlar ou de estimular a forma urbana determinando limites ao adensamento e visando à melhoria do fluxo de ar interno. Leite e Frola (2012) concluíram que a urbanização pode comprometer a atmosfera da cidade, modificando o comportamento das variáveis ambientais: a maior geração de calor e mudanças na ventilação natural têm reflexos diretos sobre o conforto térmico e desempenho energético de edificações. Em cidades de clima quente e úmido, como Fortaleza, a ventilação natural associada ao sombreamento constituem as principais estratégias passivas para conforto térmico e conservação energética. Em contrapartida, a ventilação de fachadas em meio urbano torna-se cada vez mais difícil devido o adensamento construtivo e à verticalização.

Santamouris também levantou a dificuldade de utilização da ventilação natural em edificações devido ao adensamento urbano. Por meio de avaliações experimentais do fluxo de ar em edificações com ventilação cruzada e unilateral em cânions urbanos de Atenas, ele constatou que o potencial de ventilação natural mostra uma considerável redução na sua capacidade dentro dos cânions urbanos, principalmente durante o dia (SANTAMOURIS et al., 2001).

Em pesquisas seguintes Santamouris pesquisou o desempenho da ventilação natural e do sistema híbrido de ventilação. Essas pesquisas consistiram em avaliar três apartamentos caracterizados por diferentes geometrias e localizados em dois cânions urbanos com diferentes orientações. O objetivo era mostrar o impacto do ambiente urbano na eficiência da ventilação natural e do sistema híbrido. Os pesquisadores concluíram que mesmo com a redução na velocidade do vento devido ao efeito do cânion, significativas taxas de ventilação podem ser obtidas com ventilação natural, principalmente para os casos de ventilação cruzada. Para ventilação unilateral (por meio de uma única abertura) ou sobre calmas condições de vento a ventilação híbrida tem uma pequena vantagem sobre a natural (SANTAMOURIS et al., 2008).

A velocidade do ar em um espaço auxilia na troca de calor entre a pessoa e o ambiente, influenciando na sensação térmica do corpo (perda de calor). Dessa forma, segundo Cândido et al. (2011), a velocidade do ar é a variável ambiental pela qual as pessoas têm maior sensibilidade, o que, para Zhang (2003, apud Cândido et al., 2011, p.384), pode ter relação com sensação de prazer relacionada a movimentação do ar, pois os termorreceptores estão localizados em diferentes profundidades da pele e são responsáveis pela transferência de informação entre o ambiente e a temperatura interna do corpo (controlada em 37 °C). Para De Dear (2010) essa diferença de profundidade entre termorreceptores frios e quentes pode explicar a sensação agradável ou desagradável devido ao movimento do ar. A atividade de um termorreceptor tem um componente em estado estacionário e outro transiente, ou seja, aumento na velocidade do ar aciona uma descarga dinâmica nos termorreceptores frios da pele. Assim, essas descargas dinâmicas induzidas por turbulência nos termorreceptores provocam a sensação de satisfação, pois quando a temperatura do núcleo do corpo humano está mais quente que o habitual, qualquer estímulo periférico de receptores frios da pele irá desencadear uma sensação de satisfação. A

estimulação periférica pode ocorrer por meio de qualquer um dos modos de transferência de calor: por radiação, por convecção, por perda de calor latente, ou por condução.

A sensibilidade do homem em relação à movimentação do ar em ambientes internos tem sido amplamente pesquisada. Também está relacionada à sensação de desconforto localizado, como ocorrência de correntes de ar (*draught*, *draft*) destacadas nas normas ISO 7730 (2005) e ASHRAE Standard 55 (2013). A primeira norma apresenta um modelo matemático da taxa de pessoas incomodadas pela corrente de ar, aplicável a casos de atividade sedentária, sensação térmica próxima de neutra e com ocorrência de corrente de ar próxima ao pescoço. A ASHRAE Standard 55 (2013) determina que em temperaturas operativas abaixo de 22,5 °C a velocidade do ar não pode exceder a 0,15 m/s. Por outro lado, em climas quentes é possível utilizar o aumento da velocidade do ar para compensar a sensação de calor provocada pelo aumento da temperatura. Cândido et al. (2011), por meio de análises estatísticas de mais de dois mil questionários aplicados na cidade de Maceió, encontraram alguns valores de velocidade mínima do ar para 90% de aceitabilidade. Segundo os autores, para temperaturas entre 24°C e 27°C, a velocidade mínima do ar recomendada é de 0,4 m/s; de 27°C a 29°C, a velocidade mínima do ar recomendada é de 0,41 m/s a 0,8 m/s; e entre 29°C e 31°C, a velocidade mínima do ar recomendada é superior a 0,8 m/s.

## 2.2 CONFORTO TÉRMICO

O conceito de conforto térmico dado como “a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico” é amplamente utilizado em normas internacionais, como a ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013) e é baseado nas pesquisas realizadas por P. O. Fanger em 1970. Atualmente, tem-se a concepção de que se trata de um conceito subjetivo e complexo, uma vez que além de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos, a combinação entre expectativas sobre o clima interno em um contexto particular influenciam na sensação térmica, satisfação e aceitabilidade do homem em relação ao seu ambiente térmico (DE DEAR e BRAGER, 2001). A compreensão desse conceito, assim como a busca por maneiras de prever se uma

determinada situação representa conforto ou desconforto tem sido foco de estudos desde então.

Na década de 1960, P. O. Fanger realizou experimentos de conforto térmico em câmaras climatizadas (laboratórios termicamente controlados) na Dinamarca. Em 1970, esses estudos deram origem a um modelo de análise de conforto térmico utilizado em normas internacionais, como a ASHRAE Standard 55, ISO 7730 e EN 15251, o PMV (*Predicted Mean Vote*) e PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*). O PMV, voto médio predito, é um índice que prevê o valor médio da sensação térmica de um grupo de pessoas por meio da escala de sete pontos e é baseado na equação de balanço térmico do corpo humano, que considera as seguintes variáveis: temperatura de bulbo seco, temperatura média radiante, umidade do ar, velocidade do ar, atividade e vestimenta. Para Fanger, atendimento a critérios para essas variáveis é a condição básica para que se estabeleça o estado de conforto térmico. A expressão de balanço de calor no corpo humano básica é representada na Equação 1.

$$(M - W) = C + R + E + (C_{res} + E_{res}) + S \quad (1)$$

Onde:

$M$ : Taxa metabólica ( $W/m^2$ );

$W$ : Trabalho ( $W/m^2$ );

$C$ : Perda de calor sensível pela pele, por meio de convecção ( $W/m^2$ );

$R$ : Perda de calor sensível pela pele, por meio de radiação ( $W/m^2$ );

$E$ : Perda de calor latente pela pele, por meio de evaporação ( $W/m^2$ );

$C_{res}$ : Perda de calor sensível pela respiração, por convecção ( $W/m^2$ );

$E_{res}$ : Perda de calor latente pela respiração, por evaporação ( $W/m^2$ );

$S$ : Taxa de calor armazenado pela pele ( $W/m^2$ ).

Como dito anteriormente, o atendimento à equação de balanço térmico do corpo humano é a condição básica para atingir o conforto térmico. Para Fanger (1970), o atendimento de duas outras condições também são necessárias. Segundo seus estudos o indivíduo não deve estar suando muito acima do compatível com sua atividade e a temperatura de sua pele também não deve estar muito acima ou abaixo

que o determinado no estudo. Em decorrência disso, os seguintes limites devem ser obedecidos (FANGER, 1970)

$$a < t_s < b$$

$$c < E_{sw} < d$$

Onde:

$t_s$  : Temperatura da pele (°C)

$E_{sw}$  : Taxa de evaporação do suor (W/m<sup>2</sup>)

a, b, c, d: parâmetros empíricos extraídos em função da atividade da pessoa

Dessa forma, a equação de conforto térmico definida por Fanger (1970), ou equação do PMV, a partir da equação de balanço térmico pode ser representada pela Equação 2:

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028) \cdot L \quad (2)$$

Onde:

PMV = voto médio estimado, ou voto de sensação de conforto térmico

M = Atividade desempenhada pelo indivíduo

L = Carga Térmica atuante sobre o corpo, definida pela Equação

2.1:

$$\begin{aligned} L = & M \cdot (5,87 - p_a) - 0,0014 \cdot M - \\ & 3,05 (5,73 - 0,007 \cdot M - p_a) - 0,42 \cdot (M - 58,15) - \\ & 0,0173 \cdot M \cdot (5,87 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - \\ & 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} [(t_{cl} - 273)^4 - (t_r - 273)^4] - \\ & f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \quad (2.1)$$

A partir dessa equação, definida por Fanger como a equação de conforto térmico, e dos resultados obtidos em câmaras climatizadas com votos dos indivíduos a partir da escala de sete pontos, o modelo estático propõe a equação do PMV, que representa a sensação real sentida pelo indivíduo. A escala de sensação térmica utilizada por Fanger tem como base a escala psicofísica de sete pontos da ASHRAE e foi adaptada na Tabela 1.

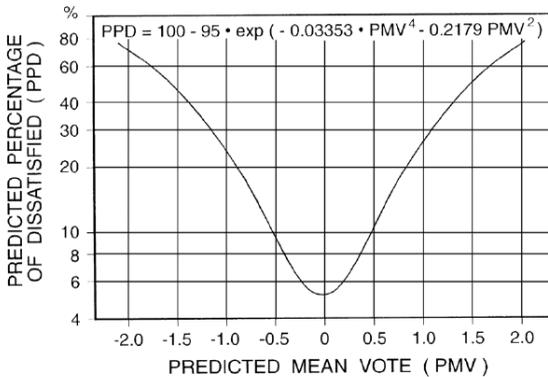
Tabela 1 - Escala de Sensação Térmica. Adaptado de: FANGER, 1970.

Sensação Térmica	PMV
Com muito calor	3
Com calor	2
Levemente com calor	1
Neutro	0
Levemente com frio	-1
Com frio	-2
Com muito frio	-3

A sensação térmica expressa por meio de entrevista é dada por um valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor. A escala vai de -3 (representando o frio) a +3 (representando o calor). O valor zero representa o estado de neutralidade térmica. A neutralidade térmica foi definida por Fanger como a condição na qual uma pessoa não prefira nem mais calor nem mais frio no ambiente a seu redor (FANGER, 1970). Ou seja, a neutralidade térmica é um estado físico no qual todo o calor gerado pelo organismo a partir do metabolismo seja trocado em igual proporção com o ambiente ao seu redor.

Essa abordagem baseada nas variáveis físicas e fisiológicas, conhecida também como Estática, ou ainda Racional, é complementada pela determinação do índice PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), que estabelece a quantidade de pessoas insatisfeitas termicamente com o ambiente e é determinado em função do PMV. Segundo Fanger é mais significativo expressar o ambiente térmico com a percentagem de pessoas insatisfeitas do que apenas com voto médio predito (FANGER, 1970). A relação entre PMV e PPD pode ser observada na curva usada como base para estimar a condição térmica do ambiente pelo modelo estático. No gráfico da Figura 2, observa-se que o ponto correspondente à condição ótima de conforto (neutra) pelo PMV corresponde a 5% de insatisfeitos pelo PPD.

Figura 2 - PPD (Porcentagem prevista de insatisfeitos) em função do PMV (Voto médio predito)



Referência: ASHRAE Std. 55 (2013, p.23)

Em 1973, Nicol e Humphreys formularam a teoria que diz que a sensação térmica é parte de um sistema de retroalimentação através do qual o corpo humano é mantido em equilíbrio térmico, e a temperatura interna do corpo é controlada dentro de limites específicos. A partir dessa teoria emerge a abordagem adaptativa de conforto térmico, que tem como princípio que se mudanças no ambiente térmico ocorrem a ponto de causar desconforto, as pessoas irão reagir, com base em sua preferência térmica, em busca de restaurar seu estado de conforto (NICOL, HUMPHREYS, 2002). De uma forma geral, a temperatura de conforto, segundo essa abordagem, é resultante das interações entre o sujeito e o ambiente ocupado. "A interação entre o ocupante e a edificação é crucial para a abordagem adaptativa de conforto térmico, uma vez que para a maioria das edificações naturalmente ventiladas há necessidade de que seus ocupantes tenham uma posição ativa em relação ao controle do seu ambiente" (SANTAMOURIS, 2007, p.3).

Para a análise de conforto térmico sob a óptica do modelo adaptativo entende-se que edificações passivas, ou naturalmente ventiladas (*free-running buildings*) são aquelas que, no momento da pesquisa, não estão sendo aquecidas nem resfriadas artificialmente (NICOL, 2004). Nesses casos, a condição do microclima interno tende a refletir as condições do clima externo. A relação entre a temperatura externa e a temperatura interna de conforto será abordada na seção dedicada ao modelo adaptativo de análise de conforto térmico.

Em 1976, Michel Humphreys realizou análises estatísticas sobre clima e conforto interno baseadas em cerca de 30 estudos de campo em diferentes climas, realizados de 1930 a 1975, quando foram levantadas em torno de 200.000 observações a respeito (HUMPHREYS, 1976; HUMPHREYS et. al, 2013). Os resultados foram comparados com os estudos até então publicados do modelo de conforto térmico baseado no balanço térmico do corpo humano e a conclusão foi que os resultados obtidos em câmaras climatizadas não refletiam as condições de um ambiente naturalmente climatizado. A população podia aceitar um intervalo maior de conforto que o mostrado pelo PMV, pois havia possibilidade de adaptação ao ambiente em que está inserida. A abordagem adaptativa pretende considerar fatores além dos físicos e psicológicos na percepção térmica, buscando trazer o conceito de aclimação.

### 2.3 MODELO ADAPTATIVO DE ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO

O modelo adaptativo de análise de conforto térmico, abordado em normas internacionais de conforto como “forma de determinar condições ambientais aceitáveis para ambientes naturalmente ventilados” (ASHRAE, 2013, p.12) e “temperaturas internas aceitáveis para projeto de edificações sem ventilação mecânica” (EM, 2007, p. 27), parte da premissa de que os ocupantes de uma edificação são agentes ativos que interagem com todos os níveis do sistema pessoa-ambiente por meio de retroalimentações.

Diferentemente do modelo estático que utiliza o balanço térmico como forma de prever se determinada situação proporciona conforto, a relação (estatística) entre o clima interno e externo se apresenta como eixo fundamental da abordagem adaptativa. Visto que em 1969, Auliciems afirmava que poderia haver uma relação estatística entre neutralidade térmica interna (temperatura de conforto) e clima externo (NICOL; HUMPHREYS; ROAF, 2012, p. 26). A partir da década de 70, investigações em campo em diferentes países começaram a produzir observações que indicam preferências térmicas das pessoas de diferentes climas, culturas, edificações; enfim, de diferentes contextos reais. Humphreys encontrou forte relação estatística entre neutralidade térmica ( $T_n$ ) e temperatura de globo ( $T_g$ ) a partir de experimentos em campo que duraram aproximadamente um mês. No ano seguinte, em

1976, as análises evoluíram para a substituição da temperatura de globo pela temperatura média externa mensal ( $T_m$ ), encontrando um coeficiente de correlação  $r=0,97$  para ambientes naturalmente ventilados (AULICIEMS; SZOKOLAY, 2007). As regressões lineares encontradas por Humphreys podem ser observadas nas Equações 3 e 4:

$$T_n = 2,56 + 0,82 * T_g \quad (r=0,96) \quad (3)$$

$$T_n = 11,9 + 0,534 * T_m \quad (r= 0,97) \quad (4)$$

Onde:

$T_n$ : Temperatura neutra ou temperatura interior preferível;

$T_g$ : Temperatura de globo;

$T_m$ : Temperatura média externa mensal.

Em 1978, Humphreys e Nicol chegaram a uma nova correlação, que seria retomada em 1998 a partir da base de dados da ASHRAE Transactions volume 104, intitulada a *global database of thermal comfort field experiments* (NICOL e HUMPHREYS, 2002). A regressão linear determinada foi a seguinte:

$$T_{conf} = 13,5 + 0,54 * T_m \quad (5)$$

$$r = 0,97 \text{ (1978) e } r = 0,95 \text{ (1998)}$$

Onde:

$T_{conf}$  = Temperatura de conforto.

Em 1981, Auliciems propôs uma correlação, a partir de alterações na base de dados utilizada por Humphreys na década anterior. Foram retirados alguns dados considerados inconsistentes e adicionados outros mais recentes, referentes a 53 pesquisas de campo realizadas em diferentes zonas climáticas na Austrália, Ásia, Américas e Europa, em ambientes naturalmente e artificialmente ventilados (DE DEAR et al., 1997, p. 17). Os coeficientes de correlação foram  $r=0,88$  para os edifícios com ar-condicionado e  $r=0,95$  para os naturalmente ventilados. A regressão linear encontrada foi a exposta na Equação 6:

$$T_{conf} = 17,6 + 0,31 * T_m \quad (6)$$

Já na década de 90, novas investigações em edificações naturalmente ventiladas foram realizadas. Na Europa, por Griffiths em 1990, e em 1996, no Paquistão por Nicol e Roaf (AULICIEMS; SZOKOLAY,

2007, p. 46). Estes estudos encontraram as relações estabelecidas nas Equações 7 e 8:

$$T_{conf} = 12,1 + 0,534 * T_m \text{ (Europa)} \quad (7)$$

$$T_{conf} = 17 + 0,38 * T_m \text{ (Paquistão)} \quad (8)$$

Em 1997, De Dear, Brager e Cooper publicaram o relatório ASHRAE RP- 884. A base de dados que compõe esse relatório contém aproximadamente 22.000 conjuntos de dados provenientes de 160 diferentes edificações de escritórios classificados como naturalmente ou artificialmente ventilados, cobrindo um amplo espectro de zonas climáticas. Esses dados vinham sendo coletados em diferentes pesquisas de campo pelo mundo, desde meados da década de 80 em países como: Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Grécia, Paquistão, Singapura, Tailândia, Indonésia e Austrália (DE DEAR et al., 1997), e obedeciam a protocolos de aquisição de dados desenvolvidos em um relatório anterior, o da ASHRAE RP-462 de 1988. Os dados incluíam respostas de questionários de sensação térmica, estimativas de vestimenta e taxa metabólica, clima interno, uma variedade de índices térmicos calculados e observações sobre o clima externo (DE DEAR, BRAGER 2001). A temperatura de conforto encontrada a partir dessas análises obedece a regressão linear exposta na equação 9:

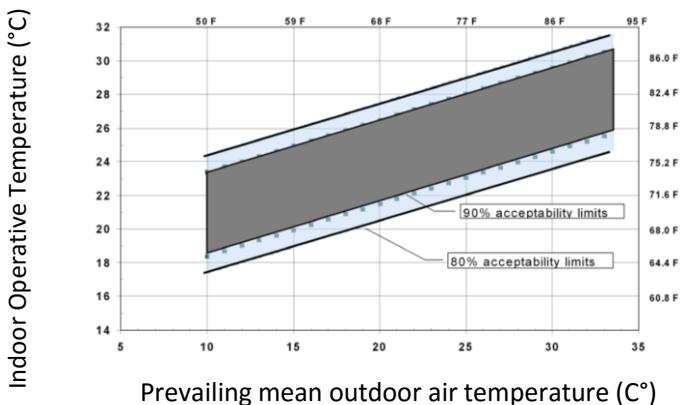
$$T_{conf} = 17,8 + 0,31 * T_m \quad (9)$$

Com o objetivo de fornecer bases para a criação de uma norma adaptativa de conforto térmico ou uma norma de temperatura variável de conforto térmico como alternativa ao modelo baseado no PMV já utilizado na ASHRAE Standard 55, para edificações naturalmente ventiladas, Brager e De Dear definem o intervalo de conforto térmico para 80% e 90% de aceitabilidade baseado na curva do PMV-PPD. A relação entre voto médio predito (PMV) e percentagem prevista de insatisfeitos (PPD), vista no gráfico da

Figura 2, indica que a sensação térmica expressa pelo PMV de 0,5 representa 10% de insatisfeitos, e para um PMV de 0,85, obtém-se 20% de insatisfeitos. Realizando a média aritmética entre todos os intervalos de conforto térmico produzidos para cada edificação naturalmente ventilada pesquisada foi obtida uma faixa de conforto (Tlim) de 5°C para 90% de aceitabilidade e de 7°C para 80% de aceitabilidade (BRAGER, DEAR, 2001). O intervalo de conforto determinado a partir do relatório ASHRAE RP- 884 e introduzido como Seção 5.4 – “Método opcional para determinar condições térmicas aceitáveis em espaços naturalmente ventilados” na ASHRAE Standard 55 a partir de 2004 é o observado na Equação 9. O gráfico de temperaturas aceitáveis para ambientes naturalmente ventilados (representada pelo índice - Temperatura Operativa) em função da temperatura mensal externa exponencialmente ponderada consta na Figura 3.

A versão mais recente da ASHRAE Standard 55 (2013) substituiu a temperatura média externa mensal pela temperatura média externa predominante (*prevailing mean outdoor air temperature*) como orientação geral, que significa utilizar a média das temperaturas de no mínimo 7 dias e no máximo 30 dias antes do dia em questão. Esta versão da norma propõe também um método opcional para caracterização do clima externo a partir de uma média exponencialmente ponderada. A caracterização do clima externo será abordada no item 3.4.

Figura 3 - Intervalos de temperatura interna aceitável (Temp. operativa) para ambientes naturalmente ventilados



Similar à ASHRAE Standard 55 (2013), a norma europeia EN 15251 (2007) apresenta uma seção dedicada aos ambientes naturalmente ventilados e o método adaptativo de análise de conforto térmico. A principal diferença entre essas duas normativas é a base de dados da qual são derivadas ambas as normas, pois, como visto anteriormente, o método alternativo proposto pela ASHRAE Standard 55 tem origem nos dados utilizados no relatório ASHRAE RP-884, que são provenientes de diferentes pesquisas ao redor do mundo e a EN 15251 utiliza dados do projeto europeu SCAT (*Smart Controls and Thermal Comfort*). Esse projeto foi composto por um único grupo de pesquisadores que realizaram as pesquisas de campo em cinco países da Europa durante um mesmo período e usando procedimentos e instrumentos uniformes em todos os levantamentos de campo. Os participantes foram: Universidade de Oxford Brookes, que atuou como coorientadora e principal responsável pelo estudo, COLT Internacional (Reino Unido), Centro Nacional de Pesquisa Científica – ENTPE e 01dB (França), Universidade de Chalmers (Suécia), National and Kapodistrian University of Athens (Grécia) e Universidade do Porto (Portugal) (ABRANTES, 2012).

A temperatura de conforto resultante destas pesquisas e utilizada pela norma pode ser observada na Equação 10. O intervalo das temperaturas operativas aceitáveis para ambientes naturalmente condicionados é observado no gráfico da Figura 4. Como a norma europeia divide as edificações em três categorias, principalmente de acordo com o nível de expectativa dos usuários em decorrência do uso da edificação, o intervalo de conforto varia entre  $\pm 2$  (Categoria I),  $\pm 3$  (Categoria II) e  $\pm 4$  (Categoria II). As características de cada categoria estão listadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Descrição da aplicabilidade das categorias usadas pela EN 15251 (2007)

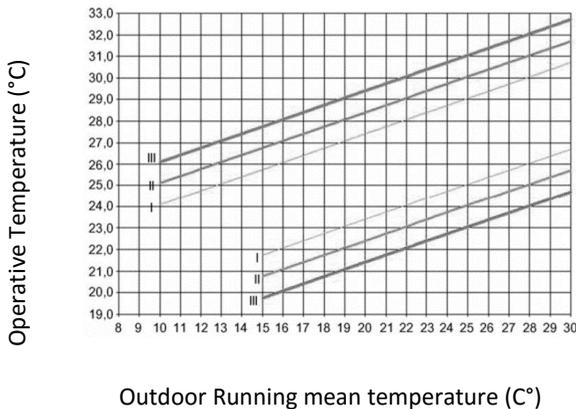
Categoria	Características
I	Nível alto de expectativa. Recomendada para espaços ocupados por pessoas que necessitem de condições especiais como portadores de alguma deficiência, enfermos, recém nascidos ou idosos.
II	Nível normal de expectativa. Recomendado para uso em edificações novas e reformas.
III	Nível moderado de expectativa. Uso recomendado para edificações existentes.

Nota: De uma forma geral, a norma ainda apresenta a categoria (IV) que trata dos valores fora dos critérios das categorias I a III e considera que esta categoria somente pode ser aceitável por um período limitado do ano.

Outra diferença entre a norma norte-americana e europeia é a caracterização do clima externo. Enquanto a ASHRAE Standard 55 (2013) utiliza a temperatura média externa predominante (*prevailing mean outdoor air temperature*) como método principal, a EN 15251 (2007) faz uso da temperatura média exponencial ponderada (*exponentially weighted running mean temperature*). Essa discussão será abordada na seção 2.4, dedicada à caracterização do clima externo e contexto ambiental interno.

$$T_{conf} = 18,8 + 0,33 * T_{me} \quad (10)$$

Figura 4 - Intervalos de temperaturas operativas aceitáveis para ambientes naturalmente condicionados (EN 15251, 2007)



Referência: EN 15251 (2007, p.27)

### 2.3.1 Variáveis contextuais da abordagem adaptativa

O modelo adaptativo propõe uma perspectiva fenomenológica da análise de conforto térmico que enfatiza como as pessoas interagem e mudam seu ambiente térmico (DE DEAR et al., 1997, p.6). "A relação entre as pessoas e o ambiente é complexa e ativa, considerando tempo, clima, forma da edificação, fatores sociais, econômicos entre outros,

assim como as variáveis ambientais” (NICOL et al., 2012, p. 7). Essa complexidade implica na necessidade de o ambiente interno levar essas variações em consideração, permitindo que o ocupante desenvolva medidas para controlar seu ambiente de acordo com sua necessidade.

De Dear et al. (1997) caracterizam o termo adaptação como todos os mecanismos fisiológicos da aclimação, os processos comportamentais e psicológicos que os ocupantes do edifício se submetem a fim de adequar o clima interno às suas necessidades pessoais ou coletivas. Para isso, destacam três categorias de adaptação, que são detalhadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Categorias de adaptação segundo De Dear et al. (1997)

Categoria		Adaptação	
Comportamental	Modificações no balanço térmico do corpo conscientes ou inconscientes	Pessoal	Alterações na vestimenta, atividade, postura, ingestão de bebida ou alimento e inclusive mudança de lugar.
		Tecnológica ou Ambiental	Abrir ou fechar janelas e persianas, ligar ou desligar ventiladores ou aquecedores, bloquear difusores de ar, operar outros equipamentos de condicionamento de ar etc.
		Cultural	Envolve rotinas de atividades como dormir após o meio dia e normas em relação a vestimenta.
Fisiológica	Alterações nas respostas fisiológicas que resultam da exposição a fatores ambientais térmicos	Genética	Alterações que se tornaram parte da herança genética de um indivíduo ou grupo de pessoas.
		Aclimação	Alterações nas configurações do sistema de termorregulação fisiológica durante um período de dias ou semanas, em resposta à exposição a fatores ambientais térmicos.
Psicológica	A dimensão psicológica da adaptação ao clima interno refere-se a alterar a percepção da informação sensorial, ou reagir a ela. A percepção térmica está diretamente ligada à experiência e expectativa do indivíduo ao clima interno. Essa forma de adaptação envolve a construção de <i>setpoints</i> de conforto que variam ao longo do tempo e espaço, por parte dos ocupantes.		

O contexto no qual esses ajustes (adaptações) do balanço térmico do corpo humano podem ocorrer pode ser descrito como “oportunidades

adaptativas" (*adaptive opportunity*), pois o nível de atuação do sujeito no ato de adaptar-se está fortemente ligado a fatores exteriores a ele, seu contexto. De Dear et al. (1997, p. 8) definiram as oportunidades adaptativas como a possibilidade ou não de o edifício (e meio) oferecer intervenções adaptativas aos seus usuários. Dessa forma, a determinação da temperatura na qual a maioria das pessoas estão confortáveis para a abordagem adaptativa está diretamente relacionada ao sistema sujeito - clima – edificação. "Sensação térmica, satisfação e aceitabilidade são influenciadas pela combinação entre expectativas sobre o clima interno em um contexto particular, e o que existe no momento" (DE DEAR e BRAGER, 2001).

### 2.3.2 Aplicabilidade do modelo adaptativo de conforto térmico nas normas ASHRAE Standard 55, EN 15521 e projeto de norma brasileira de conforto térmico

A ASHRAE Standard 55 (2013) *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, Seção 5.4 – “Método opcional para determinar condições térmicas aceitáveis em espaços naturalmente ventilados” e a norma EN 15251 (2007) *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of building addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustic*, Seção A2 – “Temperaturas internas aceitáveis para projeto de edificação sem sistema de condicionamento de ar” apresentam alguns critérios de aplicabilidade dos métodos de análise de conforto térmico com base no modelo adaptativo. Estes critérios estão descritos no Quadro 3.

Quadro 3 - Aplicabilidade do método adaptativo nas normas ASHRAE Standard 55 (2013) e EN 15251 (2007)

(Continua)

<b>Critério</b>	<b>ASHRAE Standard 55 - 2013</b>	<b>EN 15251 - 2007</b>
Temperatura Externa	A temperatura média externa ( <i>prevailing mean outdoor temperature</i> ) deve estar entre 10 °C e 33,5 °C	Não apresenta restrições
Controle do usuário	Ambientes equipados com janelas operáveis e que estão sempre disponíveis aos ocupantes	

Quadro 3- Aplicabilidade do método adaptativo nas normas ASHRAE Standard 55 (2013) e EN 15251 (2007)

(Conclusão)

<b>Critério</b>	<b>ASHRAE Standard 55 - 2013</b>	<b>EN 15251 - 2007</b>
Condicionamento de ar	Não deve existir resfriamento mecânico em operação no ambiente Não deve existir sistema de ar condicionado instalado no ambiente	Não deve existir resfriamento mecânico em operação no ambiente
Ventilação Mecânica	Não apresenta restrições	Ventilação mecânica sem condicionamento do ar pode ser utilizada no verão, desde que a operação das janelas permaneça sendo a principal forma de regulação das condições térmicas do ambiente
Aquecimento	O ambiente pode apresentar sistema de aquecimento, mas o método não se aplica quando esse sistema estiver sendo utilizado	
Atividade Metabólica	Atividade dos ocupantes deve ser entre 1,0 e 1,3 met	
Vestimenta	Os ocupantes são livres para adaptar suas vestimentas de acordo com as condições térmicas internas e externas entre 0,5 clo e 1,0 clo	É importante que não haja política restrita sobre a vestimenta dos ocupantes para permitir a livre adaptação dos mesmos em relação à vestimenta
Tipo de planta	Não apresenta restrições	Podem não ser aplicáveis a plantas livres

O projeto de norma brasileira de conforto térmico (LAMBERTS et al., 2013), que será incorporada à NBR 16401/2, traz a seção 6.4 – “Método para determinação das condições térmicas aceitáveis em ambientes naturalmente condicionados controlados pelos usuários.”. Esse método aplica-se a ambientes naturalmente condicionados, onde as janelas podem ser operadas e ajustadas pelos ocupantes de acordo com suas necessidades. Conforme o Relatório Técnico de Conforto Térmico “*Towards a Brazilian Standard on Thermal Comfort*” (LAMBERTS et al., 2013), a versão da ASHRAE Standard 55 (2010), assim como seus adendos, foram usados como a principal inspiração para a proposta brasileira de norma. Dessa forma, a utilização do método adaptativo de análise de conforto apresenta basicamente os mesmos critérios do Quadro 3, referente à ASHRAE Standard 55 (2013), sendo eles: taxa metabólica entre 1,0 *met* e 1,3 *met*; isolamento da vestimenta entre 0,5 *clo* e 1,0 *clo*; temperatura média predominante do ar externo entre 10 °C e 33,5 °C. Quanto ao condicionamento de ar, a proposta de norma brasileira apresenta um critério mais flexível em relação à ASHRAE Standard 55 (2013): não deve existir nenhum sistema de condicionamento artificial operando em tempo integral durante as horas ocupadas. Segundo o Relatório Técnico mencionado, a recomendação da ASHRAE Standard 55 (2013) sobre o uso do modelo adaptativo ser restrito a edificações sem sistema de condicionamento de ar instalado limita seriamente o potencial de benefícios ambientais trazidos por estratégias híbridas de condicionamento (natural e artificial).

### **2.3.3 Pesquisa de campo**

A abordagem adaptativa de análise de conforto térmico é baseada nas descobertas realizadas em pesquisas de conforto térmico conduzidas em ambientes reais: as pesquisas de campo. Em investigações de campo são coletados dados do ambiente térmico e, para o mesmo intervalos das medições, os usuários fornecem informações sobre sua percepção em relação ao ambiente térmico de interesse. A pesquisa de campo é a chave para o desenvolvimento de uma investigação em conforto térmico por meio da abordagem adaptativa, pois permite o entendimento da interação do usuário com o seu ambiente. Por isso, é de extrema importância que o ambiente a ser

medido seja representativo de uma atividade cotidiana dos sujeitos pesquisados, assim como, dada a natureza da abordagem adaptativa, os sujeitos devem estar em um ambiente familiar que permita que eles respondam às suas necessidades de adaptação normalmente. Nicol et al. (2012) classificam a pesquisa de campo em três níveis:

- a) Nível I: Medição simples de temperatura em ambientes ocupados, sem pesquisa subjetiva. A vantagem dessa pesquisa refere-se ao fato de não envolver os ocupantes e fornecer uma primeira aproximação das condições internas de conforto experimentadas por eles.
- b) Nível II: Medições do ambiente térmico e respostas dos ocupantes em relação a essas variáveis. As informações subjetivas coletadas envolvem principalmente votos de sensação térmica, mas vestimenta e taxa metabólica também podem ser úteis. Esta pesquisa também pode abranger o uso que os ocupantes fazem de controles ou ajustes de conforto térmico no ambiente, como janelas, persianas e ventiladores.
- c) Nível III: Pesquisas que incluem todos os fatores necessários para calcular a troca de calor entre o sujeito e o ambiente, junto com respostas subjetivas. Essa categoria de pesquisa permite comparações entre os resultados empíricos e aqueles calculados usando os modelos de conforto baseados no balanço térmico do corpo humano, além de confrontar estimativas de votos de conforto térmico encontradas em laboratórios com os votos levantados em campo.

As pesquisas de campo dos níveis II e III compreendem a coleta de informações subjetivas sobre a percepção dos indivíduos em relação ao seu ambiente térmico. Pesquisas desses tipos envolvem, principalmente, questões a respeito de sensação, preferência e aceitabilidade térmica. Para Brager et al. (1993), “aceitabilidade” talvez seja o termo mais amplo, pois pode ser interpretado como “agradável” ou apenas “aprovado”; “preferência” pode representar uma ideia de que o indivíduo poderia ter uma condição térmica ideal a qualquer momento; e “sensação térmica” é fortemente influenciada pelo fator fisiológico.

Conceitualmente, a ASHRAE Standard 55 (2013) define sensação térmica como uma expressão subjetiva consciente de um indivíduo a respeito de ambiente térmico, que geralmente é expressa por meio da

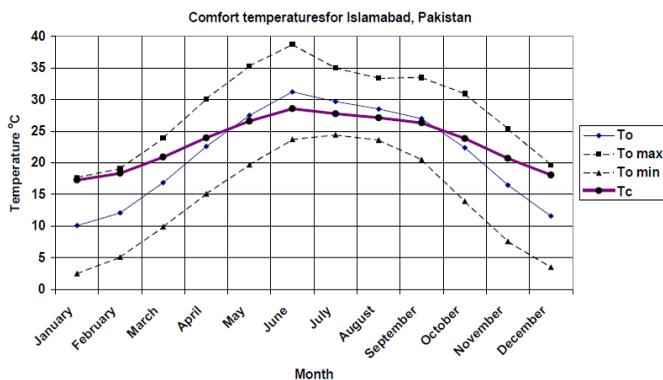
escala de sete pontos. Assim, a norma assume que o indivíduo prefere a sensação térmica neutra e o desconforto varia simetricamente para mais frio ou mais calor. A sensação térmica é amplamente usada em pesquisas de campo como a determinação do estado de conforto, conforme afirma Young (1987, apud DE VECCHI, p.9): “[...] 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.” Por outro lado, pesquisas têm mostrado que o estado neutro pode não ser o estado ideal de conforto para muitas pessoas. Brager et al. (1993) testaram diferentes estudos de campo comparando os votos de sensação e preferência térmica e, em um deles, constataram que um terço dos indivíduos que estavam neutros preferiam sentir um pouco mais de frio. Assim, sugeriram que a sensação térmica em pesquisas de campo pode ser influenciada pela cultura, pelo clima, e associadas também a expectativas e adaptação em relação ao ambiente térmico. Nessa mesma pesquisa, a aceitabilidade foi adotada como sendo o voto de “manter-se assim mesmo” no voto de preferência térmica, e constatou-se que muitos indivíduos com voto de sensação térmica fora do intervalo de aceitabilidade (80%) enquadraram-se no conceito de aceitabilidade do estudo, o que não representava, necessariamente, desconforto.

Os resultados de preferência térmica em uma pesquisa de campo realizada no Japão por Indraganti et. al em 2013, mostraram que aproximadamente 20% dos votos desejavam sentir mais frio quando o voto de sensação térmica era neutro, enquanto não haviam votos para estar mais aquecidos. Para Indraganti et. al (2013), por um lado isso mostra a natural tendência das pessoas em desejarem sentir mais frio em períodos quentes; por outro, pode mostrar uma margem de interpretação das definições da escala de sensação térmica; por exemplo, “*slightly cool*” poder significar “*cold discomfort*” ou “*comfortably cold*”. Essa pesquisa mostrou elevados índices de aceitabilidade, mesmo quando o voto de sensação térmica estava fora das três categorias principais de conforto (votos de sensação térmica entre -1 e 1). Os autores também acreditam que o voto de aceitabilidade é complexo, pois depende das temperaturas interna e externa, memória térmica, expectativas, controle do ambiente, idade e gênero. Acreditam que também pode haver equívoco na interpretação do termo

aceitabilidade, principalmente nesse caso, uma vez que a palavra usada em japonês está mais ligada ao termo tolerância.

Muitas pesquisas têm utilizado dados coletados em diferentes partes do mundo a fim de realizar uma meta-análise (combinação de resultados de estudos independentes voltados a uma única questão) que abrange diferentes climas e visa constituir uma base de dados global. Nicol (2004) utilizou registros de temperatura média interna, temperatura média externa, estimativas de temperatura de conforto e registros de umidade relativa externa de 113 pesquisas de conforto térmico precedentes: *Global database of thermal comfort field experiments* (ASHRAE Transactions volume 104) de 1998; base de dados de Humphreys de 1975; e dados coletados no Paquistão. Os dados referentes à base de Humphreys e os coletados no Paquistão referem-se a ambientes naturalmente ventilados no momento das pesquisas. O gráfico da Figura 5 representa como esses dados foram utilizados para calcular a temperatura de conforto para diferentes épocas do ano. Confrontando dados adquiridos em diferentes localidades e períodos, essa análise de Nicol pode ser classificada dentro do Nível II, pelo fato de não ampliar suas análises aos cálculos de balanço térmico.

Figura 5 – Temperatura de Conforto calculada a partir da média mensal externa (Monthly mean outdoor temperature)



Referência: Nicol, 2004.

De Dear e Brager (2001), no desenvolvimento do relatório ASHRAE RP – 884, reuniram um vasto acervo de experimentos de conforto térmico em campo: aproximadamente 22.000 conjuntos de

dados de 160 diferentes localidades. Estes dados incluíam respostas subjetivas, estimativas de vestimenta e taxa metabólica, medições de clima interno, uma variedade de índices de conforto térmico calculados e observações do clima externo. As edificações pesquisadas foram classificadas em artificialmente condicionadas e naturalmente ventiladas; assim, todas as análises foram realizadas separadamente para cada categoria de edificação. A partir das análises dessa pesquisa pôde-se constatar que os ocupantes de edificações naturalmente ventiladas preferem limites mais amplos de condições térmicas e que se aproximam mais das condições do clima externo que os ocupantes das edificações com condicionamento de ar.

Pesquisas de campo realizadas por Auliciems em 1969 na Inglaterra buscavam provar que o clima externo pode exercer considerável influência na sensação térmica do sujeito. Os dados foram coletados em 23 salas de aula, totalizando 624 adolescentes pesquisados. Foram medidas as seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade, radiação e taxa de movimentação do ar. Os instrumentos de medição foram alocados em dois pontos centrais do ambiente na altura média das cabeças dos ocupantes sentados. A percepção subjetiva dos ocupantes foi coletada por meio da escala sétima de Bedford. Grande parte dos dados foram coletados entre 40 e 70 minutos após a entrada dos adolescentes na sala, e os experimentos ocorreram nas manhãs e tarde entre janeiro e maio de 1967 e entre outubro de 1967 e março de 1968. Os dados do clima externo foram obtidos por meio de uma estação meteorológica. Com esses dados de campo, Auliciems (1969) realizou diversos estágios de análises separados por gêneros e também combinados; correlacionou a temperatura equivalente (interna) com as diferentes variáveis externas, como temperatura do ar e umidade. Por fim, correlacionou a temperatura equivalente com os votos de conforto.

### **2.3.4 Aplicação da abordagem adaptativa em pesquisas recentes**

A aplicação do modelo adaptativo de conforto térmico visando a prescrição de uma faixa de temperatura aceitável em edifícios reais tem sido amplamente discutida e utilizada em pesquisas de campo nos últimos anos. O modelo adaptativo de conforto térmico aparece como alternativa à abordagem estática de avaliação (PMV), uma vez que é

baseado no princípio de que o conforto interno é influenciado pelo clima externo e as pessoas podem se adaptar a diferentes temperaturas em diferentes períodos do ano. Se por um lado o modelo adaptativo surge como alternativa ao PMV, ele também é encarado como método complementar ao PMV, como sugerido por De Dear et al. (1997).

Indraganti et al. (2014) realizaram pesquisas de campo em duas cidades no sul da Índia, Chennai e Hyderabad, por 14 meses, em 28 escritórios, condicionados artificialmente ou condicionados naturalmente. Foi utilizada temperatura média exponencialmente ponderada para caracterizar o clima e constante  $\alpha = 0,8$  (constante entre 0 e 1 que controla a velocidade com que a média ponderada responde às mudanças de clima externo). Essa pesquisa fez uma análise comparativa entre as edificações naturalmente ventiladas e artificialmente condicionadas. A respeito da velocidade do ar, os autores relatam que os registros internos em Chennai não chegam a 0,60 m/s, e em Hyderabad não atingem os 0,20 m/s, mesmo havendo amplas evidências na literatura sobre o aproveitamento da ventilação natural na Índia. A respeito do isolamento da vestimenta, a pesquisa trouxe o valor médio da população pesquisada de 0,70 *clo*, valor mínimo de 0,47 *clo* e máximo de 1,2 *clo*. Os votos de sensação térmica foram mais altos que o voto neutro para ambientes naturalmente ventilados e inferiores nos ambientes condicionados. Conforme encontrado em outras pesquisas, como em De Dear et al. (1997), o PMV superestimou a sensação térmica dos ocupantes em mais de 60% nos ambientes naturalmente ventilados. A preferência térmica por um ambiente mais frio é evidente em todo o ano pesquisado. A respeito da aceitabilidade térmica, Indraganti et al. (2014) relatam ser esta uma observação muito mais complexa do que a simples escala binária pode traduzir. Ao comparar a não aceitabilidade ao ambiente térmico com o PPD também é constatado que a estimativa por meio do PPD superestima os resultados relatados. Para determinar a temperatura neutra, essa pesquisa utilizou uma regressão linear entre a sensação térmica e a temperatura de globo. A relação encontrada para ambientes naturalmente ventilados é observada na Equação 11.

$$T_n = 0,26 T_g - 7,09 \quad (r = 0,40) \quad (11)$$

A fim de relacionar a temperatura de conforto interna com o clima, essa pesquisa realizou a regressão linear entre temperatura

interna de conforto e a temperatura externa exponencialmente ponderada (Equação 12).

$$T_{conf} = 0,26 T_{me} + 21,4 \quad (r = 0,24) \quad (12)$$

Em outra pesquisa de campo realizada em 83 escritórios da cidade Tóquio, cidade de clima subtropical úmido (verão quente e úmido e inverno moderado, com neves ocasionais no extremo inverno), nos meses de julho, agosto e setembro, Indraganti et. al (2013) também usaram a temperatura média exponencialmente ponderada para caracterizar o clima e constante  $\alpha = 0,8$ . Essa pesquisa fez uma análise comparativa entre as edificações naturalmente ventiladas e artificialmente condicionadas. Em 70% dos ambientes naturalmente ventilados, a velocidade do ar máxima registrada foi 0,18 m/s, valor inferior as recomendações da ASHRAE Standard 55 (2013) para ampliar o limite de temperatura operativa em ambientes controlados por seus ocupantes, que são 0,6 m/s, 0,9 m/s e 1,2 m/s. Os autores alertaram que, diferentemente de ambientes residenciais, a alta velocidade do ar em ambiente de escritórios pode provocar situações inconvenientes, como a movimentação de papéis, cabelos e roupas.

As avaliações subjetivas realizadas nessa pesquisa mostraram que 69,1% das pessoas pesquisadas (no que se refere aos ambientes naturalmente ventilados) estavam na faixa de conforto, considerando para isso os votos de sensação térmica entre -1 e 1. Os pesquisadores observaram que existe uma discreta melhoria na relação entre vestimenta e clima externo nos ambientes naturalmente ventilados em relação aos condicionados artificialmente, e defendem que a vestimenta é o mais importante e imediato método de adaptação disponível às pessoas, inclusive quando não tenham sido alcançadas significativas relações estatísticas entre a vestimenta e a temperatura externa.

O PMV estimado mostrou um considerável desvio da sensação térmica informada, e os autores lembram que um modelo estático de balanço térmico não é adequado para explicar as condições temporais e experiências das pessoas em um ambiente real. A temperatura neutra encontrada nessa pesquisa para os ambientes naturalmente ventilados, por meio da regressão linear de sensação térmica e temperatura de globo, é observada na Equação 13.

$$T_n = 0,311 T_g - 7,94 \quad (r = 0,36) \quad (13)$$

Considerando que o verão em Tóquio é caracterizado por alta umidade e temperatura, os pesquisadores realizaram uma análise multivariada a fim de examinar os efeitos de outras variáveis além da temperatura interna. As variáveis examinadas foram: sensação térmica, temperatura externa, umidade relativa externa, temperatura de globo, temperatura interna do ar, umidade relativa interna, umidade absoluta, velocidade interna do ar, vestimenta e concentração total de CO<sub>2</sub>.

Em uma pesquisa de campo realizada em Jakarta, na Indonésia, cidade de clima tropical quente e úmido (temperatura mínima média de 23°C, máxima média de 33°C, e umidade relativa média entre 69% e 90%), em edifícios de escritórios artificialmente condicionados, híbridos ou com ventilação natural, Karyono (2000) mostrou que para a única edificação naturalmente ventilada, aproximadamente 20% dos pesquisados estavam sentindo-se neutros, sendo a sensação térmica média dos indivíduos pesquisados igual a 1,37. A temperatura neutra de toda a amostra pesquisada foi calculada por meio de regressão linear usando como referência a temperatura do ar, a temperatura operativa e a temperatura equivalente. As temperaturas neutras encontradas foram de 26,4°C, 26,7°C e 25,3°C, respectivamente. Essa pesquisa trouxe a distribuição de sensação térmica por gênero e mostra que o voto médio de sensação térmica das mulheres foi de 0,03 e dos homens 0,29. A análise dos votos seccionada por turno para toda a pesquisa mostrou que a temperatura neutra à tarde é 4°C acima da temperatura neutra da manhã, considerando a temperatura do ar como referência, e de 3,1°C mais alta, considerando a temperatura operativa. Essa pesquisa mostrou também a importante relação entre a temperatura interna e o ambiente arquitetônico, visto que a edificação que possui orientação norte-sul tem a maior proteção do sol e apresenta temperatura média de 24,4°C, enquanto a edificação que está orientada leste-oeste e não apresenta proteção solar possui a temperatura interna média de 27,8°C. As três pesquisas vistas correspondem a levantamentos em campo realizados em ambientes de escritórios. O Quadro 4 fornece o resumo das informações sobre a localização, clima e resultados dos levantamentos em campo.

Quadro 4 – Resumo das pesquisas de campo realizadas em escritórios

	Indraganti et al. (2014)	Indraganti et. al (2013)	Karyono (2000)
Local	Chenai e Hyderabad, Índia	Tóquio, Japão	Jakarta, Indonésia
Clima	Tropical quente e úmido, Temperado	Subtropical úmido	Tropical quente e úmido
Eq. Tn	$0,26 T_g - 7,09$	$0,311 T_g - 7,94$	$0,31T_o - 8,33$
Temp. neutra	27,3 °C	25,6 °C	26,7 °C
$I_{cl}$	De 0,47 a 1,2 <i>clo</i>	De 0,38 a 0,97 <i>clo</i>	De 0,6 a 1,2 <i>clo</i>
$v_a$	<0,60 m/s e <0,20 m/s	< 0,18m/s	-----
Período da Pesquisa	4 estações (14 meses de pesquisa)	Verão	-----

## 2.4 CLIMA EXTERNO E CONTEXTO AMBIENTAL INTERNO

Se por um lado a caracterização do clima externo é o fator determinante da abordagem adaptativa de análise de conforto térmico, por outro, é deveras criticado pelo fato de considerar apenas a temperatura operativa como variável física de influência na determinação da condição interna de conforto dos ocupantes. Diferentemente da abordagem estática, o modelo adaptativo não relaciona a temperatura de conforto a outros fatores ambientais como velocidade do ar e umidade relativa do ar, e pessoais (atividade e vestimenta). Halawa e Hoof (2012) relatam que alguns parâmetros, como vestimenta e atividade (ou postura) podem estar relacionados de alguma forma com a temperatura exterior. Inclusive, alguns estudos, como os de De Dear et. al (1997) mostraram discrepâncias na relação entre valores de isolamento da vestimenta (*clo*) e temperatura operativa

interna para ambientes naturalmente ventilados ou com condicionamento artificial de ar. "A velocidade do ar e temperatura radiante continuam sendo negligenciadas pela abordagem adaptativa e dificilmente podem ser expressas em função da temperatura externa" (HALAWA e HOOF, 2012, p.103). Originalmente, o relatório ASHRAE RP 884 foi construído com a representação do clima externo em termos de Temperatura Efetiva Externa (temperatura calculada em função da temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e velocidade do ar). Mas por questões práticas, uma vez que esse índice é usado apenas por pesquisadores e de difícil acesso a dados meteorológicos para calculá-lo, foi reformulado e expresso pela temperatura do ar média do mês (DE DEAR e BRAGER, 2001).

Para Nicol (2004), em pesquisas de campo, todas as variáveis estão em ação: pessoas são livres para mudar suas roupas, suas atividades, suas posturas e quando a edificação permite, a temperatura, o movimento do ar e até a umidade podem ser alteradas. Por outro lado, ressalta-se a importância de analisar o movimento do ar e a umidade em climas quentes, onde as perdas de calor por evaporação são predominantes.

A respeito da velocidade do ar, em pesquisas de campo realizadas em 1973 no norte da Índia e Iraque, Nicol constatou que a presença do movimento do ar pode representar uma sensação equivalente à redução de 4°C na temperatura. Em 1999, com análises de dados extraídos no Paquistão, sugeriu que para temperaturas internas maiores que 25°C a velocidade do ar deveria estar acima de 0,45 m/s (NICOL, 2004). As normas que trazem o modelo adaptativo de conforto térmico como opção para análise de ambientes naturalmente ventilados - ASHRAE Standard 55 (2013) e EN 15251 (2007), também abordam o uso da velocidade do ar como elemento de correção dos limites de conforto estabelecidos pela abordagem adaptativa. A ASHRAE Standard 55 (2013) ampliou os valores de velocidade do ar para ambientes naturalmente condicionados (ambientes controlados pelos ocupantes) acima de 0,3 m/s. Segundo a nova versão da norma, para velocidade do ar média de 0,6 m/s o limite de temperatura operativa pode ser ampliado em 1,2°C; para velocidade de 0,9 m/s o limite de temperatura operativa pode ser ampliado em 1,8°C; e para velocidade de 1,2 m/s o limite de temperatura operativa pode ser ampliado em 2,2°C. A norma europeia, por sua vez, considera que para situações onde a temperatura operativa é maior que

25°C, o aumento na velocidade do ar pode compensar o aumento da temperatura do ar, ou seja, o aumento na velocidade do ar, em decorrência de algum mecanismo que possa ser controlado diretamente pelo ocupante, pode ampliar os limites superiores de conforto em alguns graus. A relação usada por essa norma é baseada na exposta anteriormente pela ISO 7730 (2005), e informa que a velocidade do ar de 1,5 m/s pode ampliar o limite superior de temperatura operativa de conforto em torno de 3,5°C.

Investigações em campo a respeito da influência da umidade na determinação da temperatura de conforto também têm sido realizadas dentro da abordagem adaptativa, mesmo com a afirmação de muitos pesquisadores de que sua influência não é tão grande como se espera. Assume-se que em condições quentes, onde a perda do calor metabólico por convecção e radiação diminui e as maiores perdas de calor são por evaporação, o aumento da umidade irá aumentar o desconforto (NICOL, 2004). Nicol et al. (2012) dizem que não é preciso negligenciar os efeitos da umidade nas pesquisas de temperatura de conforto dos ocupantes, mas afirmam também que eles são menos consistentes que os efeitos do aumento da velocidade do ar sobre os ocupantes. Para isso, retomam uma formulação de Givoni, de 1962:

*Encontrei nessa pesquisa, experimentalmente, que umidade não afeta a taxa de evaporação do corpo, exceto em extremas condições, porque o corpo tem a capacidade de compensar as altas umidades aumentando sua área molhada. A pele úmida e até mesmo molhada é uma vantagem fisiológica, mas nós não gostamos disto. Consequentemente, o efeito da umidade é principalmente psicológico. (GIVONI, 1962 apud NICOL et al., 2012, p. 32).*

Entretanto, a formulação de Givoni não parece ser um argumento adequado dentro da abordagem adaptativa, pois se essa abordagem se propõe a fazer uma análise complexa e fenomenológica sobre a condição de conforto de um indivíduo em um determinado ambiente e o fator psicológico de desagrado em relação à pele suada pode representar um elemento de desconforto que não é mensurável diretamente pela temperatura.

Nicol (2004) realizou análises sobre a influência da umidade relativa externa na sensação de conforto térmico a partir de bases de dados de pesquisas de campo realizadas em climas quente e úmido, quente e seco e temperado. A partir dessas análises, constatou que os efeitos do tipo de clima na temperatura de conforto sugerem que as pessoas em clima quente e úmido e com umidade relativa superior a 75% preferem temperaturas mais baixas que aquelas em clima quente e seco e umidade relativa inferior a 64%. Entretanto, a diferença em relação à temperatura de conforto média de toda a população pesquisada é de aproximadamente 1 °C. Por fim, constatou que o maior efeito de altas umidades é a redução do intervalo de conforto térmico determinado pelo modelo adaptativo.

De um modo geral, as normas de conforto térmico consideram que a umidade tem um pequeno efeito na sensação térmica em ambientes de atividade sedentária e não apresentam nenhuma relação entre umidade e temperaturas de conforto, segundo a abordagem.

Dentro da caracterização do clima proposto pelo modelo adaptativo baseado na temperatura externa, muitas métricas têm sido discutidas. Para Humphreys et al. (2012), as três formas de expressão do clima que melhor predizem temperatura de conforto interno são:

- a) Temperaturas externas médias máximas e mínimas mensais a partir de dados meteorológicos históricos;
- b) Temperaturas máximas e mínimas diárias a partir de medições contemporâneas (podem ser a partir de medições da temperatura externa às 6 h e às 15 h) no período da pesquisa de campo;
- c) Média ponderada das temperaturas médias diárias até o dia da pesquisa de campo.

Esses pesquisadores realizaram diversas comparações por meio de regressões com a base de dados da SCAT e constataram que o uso de médias aritméticas simples para as temperaturas médias máximas e mínimas mensais apresentam um coeficiente de correlação em torno de 0,80 na determinação da temperatura interna de conforto. Ao passo que o uso de temperaturas máximas e mínimas diárias apresentou um coeficiente de 0,93; e o uso da média exponencialmente ponderada das temperaturas, o coeficiente de correlação resultou em 0,96 na predição da temperatura interna de conforto.

Humphreys et. al (2013) consideram a média exponencialmente ponderada da temperatura externa (ver Equação 15) um bom índice para prever a temperatura interna de conforto a partir do clima externo; e afirmam que a constante  $\alpha$ , valor entre 0 e 1 que controla a velocidade com que a média ponderada responde às mudanças de clima externo, representa a inércia térmica da edificação junto ao atraso na resposta comportamental dos ocupantes frente às mudanças de temperatura dentro da edificação. Dessa forma, deve-se aplicar diferentes valores para cada caso específico.

A meia vida ( $\lambda$ ), ou seja, quantidade de tempo que um valor leva para reduzir-se à metade, de uma média exponencialmente ponderada sequencial (*an exponentially weighted running mean*) é dada pela Equação 14.

$$\lambda = 0,69/(1 - \alpha) \quad (14)$$

Sendo assim, o valor de  $\alpha = 0,80$  indica uma meia vida de 3,5 dias, que significa que se alguma mudança radical ocorre na temperatura média externa, a temperatura interna de conforto pode levar três dias e meio para atingir a metade do seu novo valor. Dessa forma, as pesquisas referentes a métricas do clima externo mostram que o coeficiente  $\alpha = 0,80$  representa as mudanças ocorridas principalmente na semana anterior ao dia de estudo, considerando um mês um período muito longo e um dia, um período muito curto.

Para a caracterização do clima externo dentro da abordagem adaptativa, a norma EN 15251 (2007) utiliza a temperatura média exponencialmente ponderada (*exponentially weighted running mean temperature*) que atribui maior peso às temperaturas dos dias mais próximos do dia em questão e progressivamente reduz a importância dos dias mais distantes, com recomendação de  $\alpha=0,8$ . A temperatura média exponencialmente ponderada é conhecida na Equação 15.

A ASHRAE Standard 55 (2013) traz como orientação geral o uso da temperatura média externa predominante (*prevailing mean outdoor air temperature*) que se trata da média aritmética das temperaturas médias diárias de uma sequência de no mínimo sete dias antes do estudo e no máximo 30 dias. Entretanto, traz como método excepcional o uso da média exponencialmente ponderada (Equação 15) que, diferente da norma europeia, recomenda valores para  $\alpha$  entre 0,6 e 0,9 a fim de representar melhor as dinâmicas do clima em questão, ou seja, um  $\alpha=0,6$

apresenta respostas mais rápidas às mudanças do clima, enquanto um  $\alpha=0,9$  representa uma resposta lenta, devendo ser usado em climas onde as temperaturas variam menos (ASHRAE, 2013).

$$T_{me} = (1 - \alpha)[t_{e(d-1)} + \alpha t_{e(d-2)} + \alpha^2 t_{e(d-3)} + \alpha^3 t_{e(d-4)} + \dots] \quad (15)$$

Onde:

$T_{me}$  = Temperatura média exponencialmente ponderada (*exponentially weighted running mean temperature*);

$\alpha$  = Constante entre 0 e 1 que controla a velocidade com que a média ponderada responde às mudanças de clima externo;

$t_{e(d-1)}$  = Temperatura média do dia anterior;

$t_{e(d-2)}$  = Temperatura média do dia anterior ao  $t_{e(d-1)}$ , e assim por diante.

Conforme já exposto, para a norma EN 15251 (2007) o valor recomendado é 0,8 e para a ASHRAE Standard 55 (2013) é recomendado o uso de valores entre 0,6 e 0,8.

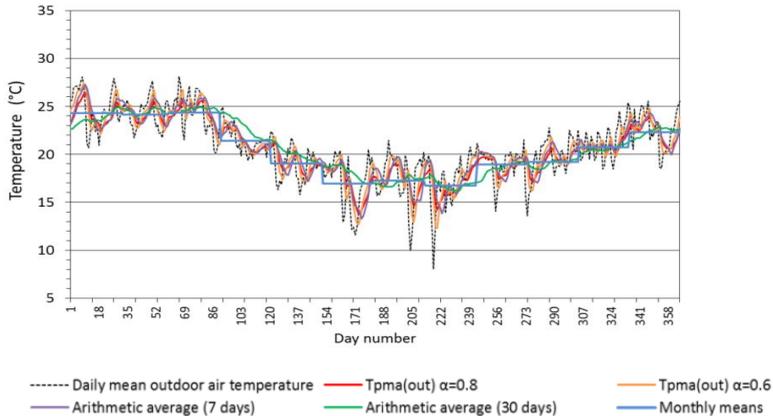
Com o objetivo de avaliar a aplicação do método adaptativo proposto pela ASHRAE Standard 55 (2013) em duas cidades brasileiras, De Vecchi et al. (2014) compararam três métodos de cálculo da temperatura do ar externo predominante:

- a) Média simples de uma sequência de sete e de 30 dias antes do dia em questão;
- b) Média ponderada utilizando como constante  $\alpha$  os valores 0,6 e 0,9 para 20 dias antes do dia em questão;
- c) Médias mensais climatológicas.

O gráfico da Figura 6 apresenta esses resultados e mostra que para o clima de Florianópolis as médias exponencialmente ponderadas apresentam comportamento semelhante à média simples dos sete dias anteriores ao dia em questão, reproduzindo o comportamento da temperatura exterior. Além disso, a média exponencialmente ponderada com a constante  $\alpha = 0,6$  é a que se aproximou mais da temperatura exterior. Por outro lado, a quantificação das horas fora dos intervalos de conforto determinados pelas diferentes formas de caracterizar o clima externo não apresentaram diferenças significativas, sendo que a maior encontrada foi entre as médias simples de sete e 30 dias. Dessa forma, os autores afirmaram que a escolha de um método linear ou exponencial para calcular a temperatura do ar exterior é indiferente no caso de pequenas amplitudes, e independentemente da

forte relação do método exponencial com a temperatura do ar externo, ele é mais trabalhoso para ser aplicado pelos usuários da norma.

Figura 6 - Temperatura exterior predominante para diferentes métodos de cálculo.



Referência: De Vecchi et al. (2014)

## 2.5 SÍNTESE DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo foram apresentados alguns conceitos e pesquisas realizadas acerca do tema conforto térmico principalmente como foco na abordagem adaptativa. Essa revisão, partiu da apresentação do contexto que envolve as edificações naturalmente ventiladas, foco dessa pesquisa, desde o fenômeno da ventilação natural até seus benefícios e condições de atuação em edificações. Em seguida, conceituou-se conforto térmico a partir de duas abordagens: a estática e a adaptativa. E por fim, a abordagem adaptativa foi explorada. Iniciando pela evolução histórica do pensamento, por meio de uma série de pesquisas desenvolvidas em campo desde a década de 70; passando pelas variáveis contextuais do modelo, sua aplicação em campo e importância do clima; E terminando com pesquisas contemporâneas, de caráter experimental, assim como o presente o trabalho foi construído. Esse capítulo foi elaborado com o intuito de formular uma base sobre a abordagem adaptativa de análise de conforto térmico, além de sua expressão observada nas normas internacionais de conforto em uso atualmente.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método adotado neste trabalho consiste em uma pesquisa empírica de análise de conforto térmico. Para tal, experimentos de campo foram desenvolvidos em ambientes de escritórios, com medições das variáveis ambientais internas (temperatura do ar, temperatura de globo, velocidade do ar e umidade relativa do ar) simultaneamente ao preenchimento de questionários de sensação e preferência térmicas pelos usuários. Paralelamente, variáveis externas (temperatura do ar e umidade relativa) foram registradas em um período mínimo de sete dias que antecederam o experimento de campo propriamente dito. Essa pesquisa de campo enquadra-se na classificação de Nicol et al. (2012) como de Nível II, pois envolve medições do ambiente térmico e respostas dos ocupantes em relação a estas variáveis.

As investigações em campo foram realizadas na cidade de Florianópolis e divididas em três etapas: período ameno, período frio e período quente.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE FLORIANÓPOLIS

Florianópolis, cidade de considerável amplitude térmica, gera desafios quanto ao uso do clima externo como condicionante de conforto térmico, uma vez que, estratégias como a ventilação natural, devem ser aproveitadas de forma seletiva, ou seja, nos períodos mais amenos, e evitada nos períodos de clima mais extremo, seja para frio ou calor.

O zoneamento bioclimático brasileiro determinado pela NBR 15220 (2003) divide o país em oito zonas e esta classificação tem como base a Carta Bioclimática de Givoni. Segundo a norma, as zonas são relativamente homogêneas quanto ao clima e Florianópolis encontra-se na ZB 3.

Nimer (1979) atribui a toda a região Sul do Brasil características de clima Temperado. Esse clima apresenta estações do ano bem definidas, com verões quentes e invernos muito frios. Segundo Nimer, cabe às variações térmicas o papel mais importante na diversidade climática da região, por isso, quanto ao comportamento térmico ele reconhece pelo menos três categorias climáticas: clima Subquente, clima Mesotérmico brando e clima Mesotérmico médio. Segundo essa classificação, Florianópolis apresenta Clima Subquente, caracterizado

por grande frequência de temperaturas elevadas no verão, com média de janeiro entre 26°C e 24°C e inverno ameno com raras ocorrências de mínimas próximas a 0 °C com temperatura média do mês mais frio superior a 15°C. Assim, é visto que as temperaturas médias anuais desta região são geralmente próximas de 20°C, sendo as mais elevadas da região Sul do Brasil.

Mendonça e Oliveira (2007) classificam Florianópolis como Clima Subtropical Úmido com inverno fresco a frio, caracterizado por uma regularidade na distribuição anual da pluviometria e acentuada variabilidade térmica, tanto espacial como temporalmente, com médias anuais entre 14°C e 22°C. As características climáticas são controladas pelo predomínio de altas temperaturas, elevada precipitação e conteúdo de umidade atmosférica, sendo os verões quentes e invernos frios controlados pela atuação de massas Polar Marítimas do Atlântico. Dessa forma, as bruscas mudanças no tempo verificadas em qualquer estação do ano ocorrem quando os dias quentes e úmidos são modificados pelo avanço de frentes frias polares. Mendonça e Lombardo (2008) esclarecem que no inverno as mudanças são sempre precedidas pela elevação da temperatura e a frente é sucedida por ondas de frio causadas pelas massas polares; no verão, as condições do clima registram a instalação de massa de ar polar por meio da mudança da direção dos ventos, que passam a soprar a partir do sul e não mais do nordeste. Os ventos predominantes em Florianópolis são provenientes do quadrante norte, entretanto os mais velozes são provenientes do quadrante sul, associados às massas de ar Tropical Marítima e Polar Marítima do Atlântico. Assim o vento sul antecede a entrada das frentes frias e do ar Polar Marítimo. A atuação da massa de ar Polar Marítima também é responsável pelas grandes amplitudes térmicas diárias e possíveis índices de umidade relativa inferiores a 50%, ainda que, devido a influência da maritimidade a umidade relativa média de Florianópolis seja alta, por volta de 80%.

Segundo Mendonça e Lombardo (2008), as precipitações também são reguladas pela Frente Polar, e são menos abundantes no inverno quando são caracterizadas por serem leves e contínuas. No verão, as precipitações são rápidas e torrenciais, principalmente em fevereiro, mês que ocorrem as chuvas convectivas associadas ao aquecimento do continente e ao atraso no aquecimento das águas em relação ao solstício

de verão, esse mês apresenta as temperaturas médias mais elevadas do ano.

Por fim, destaca-se que há uma dinâmica anual do clima, um ciclo regido pelos fluxos polares descrito e discutido por Monteiro em 1963, Serra em 1954 e Serra e Ratisbonne em 1942 (MENDONÇA E LOMBARDO, 2008). Segundo eles, com períodos de maior ou menor nitidez, esse ciclo envolve as seguintes fases: transição, pré-frontal (massa de ar que recebeu a invasão de outra massa de ar), avance frontal e domínio polar.

Os dados de um ano típico fornecidos por arquivos climáticos (conjunto de dados representativos do clima local utilizados para simulação computacional de desempenho térmico) auxiliam na visualização dessas características. O arquivo utilizado neste trabalho é do formato TRY (*Test Reference Year* ou Ano Climático de Referência). Os gráficos representados na Figura 7 e na Figura 8 trazem as informações de temperatura de bulbo seco e umidade relativa para os 12 meses do ano, respectivamente. As temperaturas médias do mês mais frio, mais quente e anual estão descritas na Tabela 2. O regime dos ventos também pode ser conhecido por meio dos dados de arquivos climáticos. A frequência de ocorrência de velocidades e direção pode ser vista nos gráficos da Figura 9 e da Figura 10. O arquivo de referência utilizado na consulta é do formato EPW e é resultante de medições registradas no aeroporto Internacional Hercílio Luz.

Tabela 2 - TBS Média para a cidade de Florianópolis

Média Mês mais Frio	Média Anual	Média Mês mais Quente
12,3 ° C – Junho	20,8 ° C	29,3 ° C - Fevereiro

Figura 7 - Dados de TBS Externa para Florianópolis

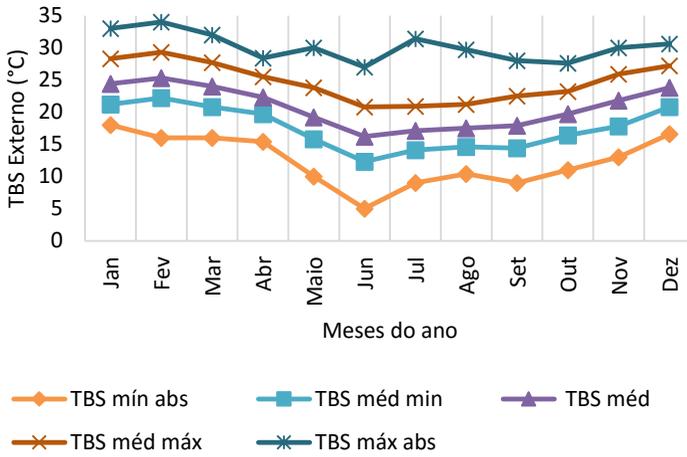


Figura 8 - Dados de Umidade Relativa para Florianópolis

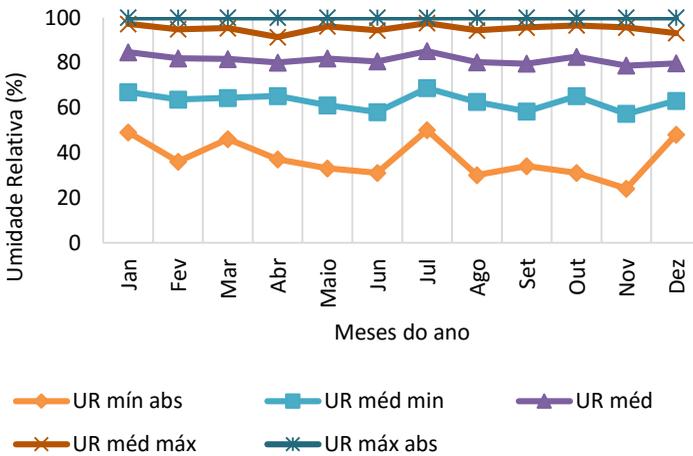


Figura 9 - Velocidade do ar para Florianópolis

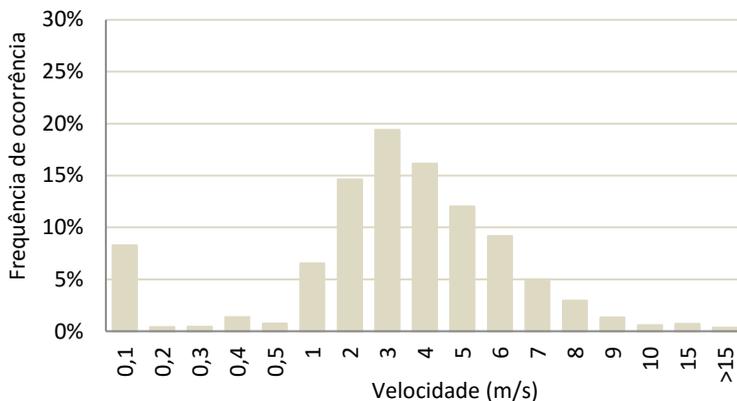
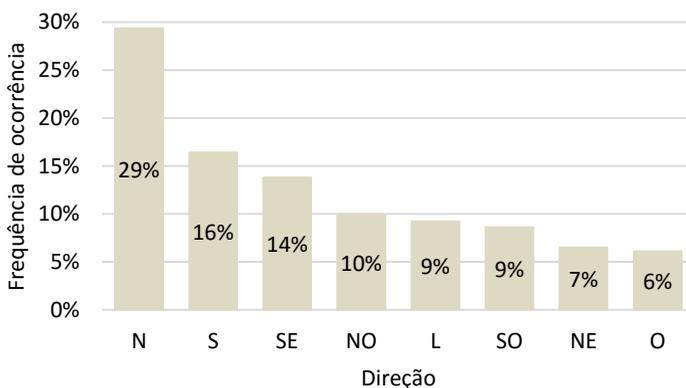
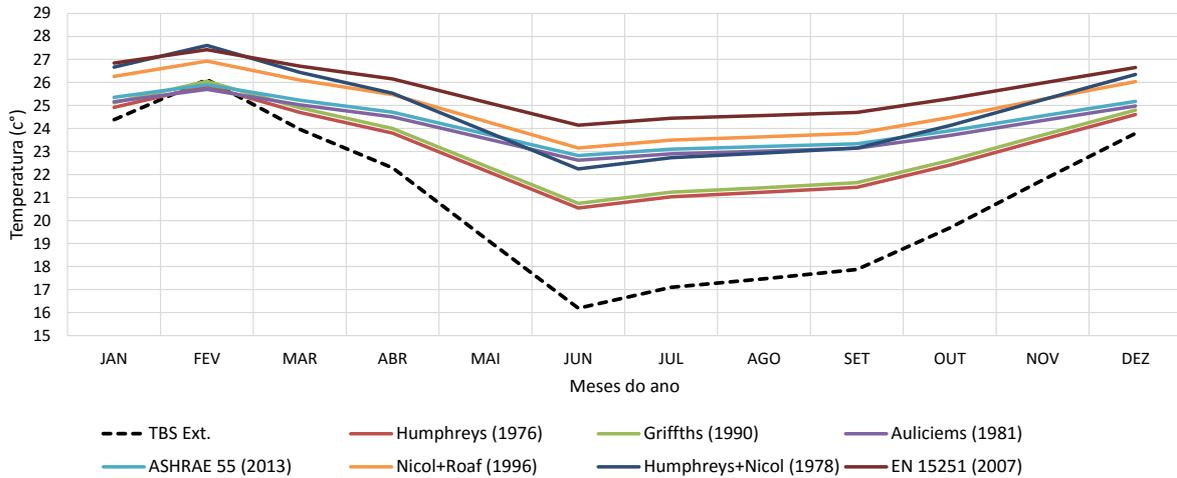


Figura 10 - Direção dos ventos para Florianópolis



As temperaturas de conforto oriundas das pesquisas sobre o modelo adaptativo, desde Humphreys em 1976 até as determinadas pelas normas ASHRAE Standard 55 (2013) e EN 15251 (2007), são observadas no gráfico da Figura 11. As temperaturas de conforto foram calculadas para a cidade de Florianópolis a partir dos dados históricos, e de uma forma geral, usou-se as médias mensais externas (*Monthly mean outdoor temperature*). Nota-se que, as temperaturas de conforto para a ASHRAE Standard 55 (2013) encontram-se em um nível intermediário em relação às outras comparadas.

Figura 11- Temperaturas de conforto referente as principais formulações do modelo adaptativo a partir das médias mensais externas (*Monthly mean outdoor temperature*).



Observa-se no gráfico da Figura 11 que as equações de temperatura de conforto a partir da temperatura de bulbo seco externa, que apresentam maior amplitude sazonal são as construídas a partir das equações formuladas por Humphreys (1976) e Griffiths (1990). Por outro lado, a temperatura de conforto determinada pelas equações da ASHRAE Standard 55 (2013) e Auliciems (1981) apresentam as menores amplitudes entre as diferentes épocas do ano.

## 3.2 PESQUISA DE CAMPO

### 3.2.1 Ambientes analisados

Os ambientes que fizeram parte do experimento foram escolhidos de acordo com os seguintes critérios:

- a) Possuir janelas operáveis e disponíveis a todos os usuários;
- b) Apresentar atividade sedentária (e semelhante entre eles);
- c) Não ter equipamento de condicionamento de ar em operação no dia em questão;
- d) Disponibilidade dos ocupantes e responsáveis pelo espaço em contribuir com a pesquisa.

As três primeiras características citadas acima dizem respeito a aplicabilidade do modelo adaptativo de conforto térmico, conforme já visto na seção sobre as normas ASHRAE Standard 55 (2013) e EN 15251 (2007). Já a última condição é um fator determinante para a pesquisa, pois o bom andamento do experimento em campo e a confiabilidade dos dados adquiridos por meio dos questionários dependem muito da dedicação dos indivíduos pesquisados em contribuir de forma sincera para a pesquisa e também de facilitar o trabalho do pesquisador em campo.

As tipologias arquitetônicas que emergiram a partir dessas condições de trabalho foram bastante variadas e representativas do momento de transição urbana pelo qual passa a região da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis. Os bairros que circundam o campus, entre eles, Trindade e Córrego Grande, que por muitos anos foram regiões residenciais e de pequenos comércios para atender aos estudantes e famílias localmente, atualmente apresentam crescente oferta de escritórios de serviços variados (Arquitetura, Design, Publicidade etc.). Por sua vez, esses serviços estão instalados em

diferentes tipos de edificação, como casas adaptadas, pequenos prédios comerciais e novas torres de escritórios que têm sido construídas recentemente.

Os quatro escritórios que participaram dos levantamentos de dados estão localizados nos bairros Trindade e Córrego Grande. O conjunto de imagens representado na Figura 12 traz a localização dos escritórios monitorados, a edificação em destaque amarelo e o escritório (unidade pesquisada) em destaque roxo.

Figura 12 - Localização das edificações monitoradas

Ambiente 1 | Bairro Trindade



Referência: Google Earth

Ambiente 2 | Bairro Trindade



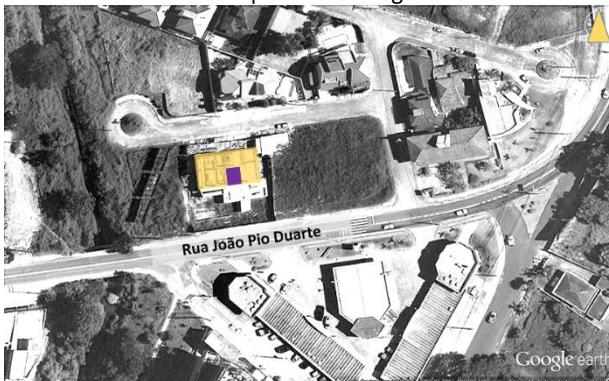
Referência: Google Earth

## Ambiente 3 | Bairro Trindade



Referência: Google Earth

## Ambiente 4 | Bairro Córrego Grande



Referência: Google Earth

Os quatro ambientes selecionados apresentam dois meios de controle de conforto térmico: as janelas e equipamentos de condicionamento de ar do tipo Split, isso pode configurar um sistema híbrido de ventilação, descrito por Heiselberg (2002) como aquele que proporciona um ambiente interno confortável usando ventilação natural e sistemas mecânicos, fazendo uso de diferentes características distintas épocas do dia ou estação do ano. Segundo o autor, a principal diferença entre um sistema de ventilação convencional e um sistema híbrido é o fato de que este último tem um controle inteligente, que pode alternar automaticamente entre os modos natural e mecânico, a fim de minimizar o consumo de energia. Dessa forma, como nos ambientes pesquisados o uso desses elementos, janelas ou equipamentos de

condicionamento de ar depende do clima externo, das características de cada ambiente e das necessidades dos usuários da edificação, sem a existência de um plano de operação a partir da interação entre os dois elementos, e ainda, como esta pesquisa foi construída sobre momentos onde apenas as janelas estavam em uso, os ambientes serão tratados como naturalmente condicionados em todo desenvolvimento do trabalho.

A seguir, são apresentadas as características dos ambientes estudados a partir de parâmetros como localização; orientação; características da edificação, da envoltória e das aberturas; densidade de ocupação e características internas, de uma forma geral.

#### 3.2.1.1 Escritório 01 | Trindade

O escritório 01 encontra-se no quinto andar de um edifício comercial de duas torres localizado na via principal do bairro Trindade, a Rua Lauro Linhares. O edifício apresenta um pavimento térreo de pé direito duplo, um pavimento de estacionamentos e torre de 8 andares. O ambiente de análise apresenta duas paredes externas, orientadas a nordeste e sudeste. O conjunto de aberturas apresenta peitoril de vidro fixo e folha do tipo *maxim ar* na parte superior. Cada janela é composta por quatro folhas de vidro, duas fixas e duas móveis. A fachada sudeste, a maior, apresenta duas janelas. A noroeste apresenta uma. As paredes externas possuem aproximadamente 60% de sua superfície envidraçada e não há proteção solar externa nas janelas. Internamente, usam-se persianas horizontais de cor clara.

O escritório possui seis estações de trabalho, entretanto durante todo o período da pesquisa nunca teve sua lotação máxima, mantendo uma densidade máxima de 4m<sup>2</sup> por pessoa. Existe o mesmo número de computadores (do tipo *desktop*) em operação que a quantidade de ocupantes e uma impressora A3. A configuração do ambiente em questão (foto tirada no dia 04 de dezembro de 2014) é mostrada na Figura 14 e na **Error! Reference source not found.** Não existem equipamentos complementares de ventilação em uso nesse escritório, e há um equipamento de ar-condicionado do tipo Split instalado.

A região onde está localizado esse ambiente de estudo é classificada pelo Plano Diretor como AMC 8.5, Área Mista Central, com no máximo seis pavimentos e acréscimo de dois por meio do instrumento de Transferência do direito de construir. O edifício está no

limite desta zona e faz fronteira na fachada nordeste com a ARM 5.5, Área residencial mista de, no máximo, cinco pavimentos.

Nesse escritório foram realizados quatro experimentos, dias 22 e 23 de maio de 2014, 04 de dezembro de 2014 e 30 de janeiro de 2015, além de duas medições prévias para teste de equipamento e ajustes na metodologia de trabalho.

Figura 13 – Planta baixa do escritório dos experimentos 01, 02, 06 e 08 | No bairro Trindade em Florianópolis

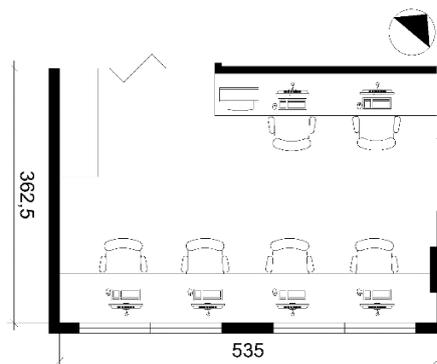


Figura 14 - Escritório 01, no bairro Trindade | Estudo 06, em 04 de dezembro de 2014



### 3.2.1.2 Escritório 02 | Trindade

O escritório 02 encontra-se em uma casa, localizada na Rua Gonçalves Lêdo, bairro Trindade, a uma quadra da rua Lauro Linhares. O zoneamento do Plano Diretor do Município classifica a região como ARM 5.5, Área residencial mista, com limite de cinco pavimentos. É uma região de transição entre as áreas Mista central e Predominantemente residencial.

O ambiente apresenta planta em “L” e foi setorizado para a realização do experimento. O setor elegido para ser monitorado apresenta duas paredes externas orientadas a noroeste e sudoeste, cada uma com uma janela de abertura de correr, composta por quatro folhas de vidro, duas fixas e duas móveis. As janelas são altas e não permitem contato visual com o exterior aos indivíduos em suas posições de trabalho. Elas apresentam proteção solar externa configurada por uma série de pequenas aletas horizontais.

O local apresenta nove estações de trabalho, com ocupação média de cinco indivíduos por período pesquisado (densidade média de 5,4m<sup>2</sup> por pessoa). Além de um computador (*desktop*) por usuário em funcionamento, existem duas impressoras em uso e um rack usado como servidor no ambiente. A Figura 15 mostra a planta baixa do ambiente e a Figura 16 apresenta a configuração do ambiente em questão (foto tirada no dia 20 de junho de 2014). Não existem equipamentos complementares de ventilação em uso neste escritório, e há um equipamento de condicionamento de ar do tipo Split instalado no outro setor do ambiente. Nesse escritório foi realizado somente um levantamento de dados durante o período de clima frio da pesquisa, no dia 20 de junho de 2014.

Figura 15 – Planta baixa do escritório do experimento 03 | No bairro Trindade em Florianópolis

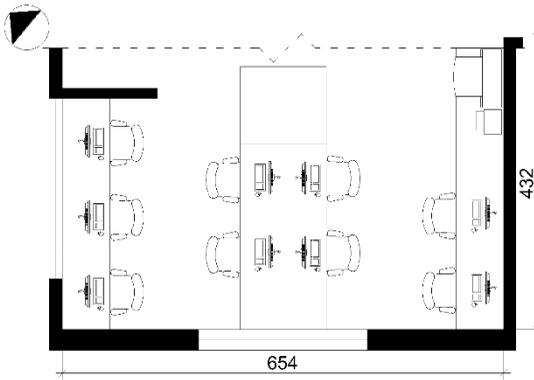


Figura 16 - Escritório 02, no bairro Trindade | Estudo 03, em 20 de junho 2014



### 3.2.1.3 Escritório 03 | Trindade

O escritório 03 localiza-se no terceiro andar de um edifício de cinco pavimentos na região central do campus da Universidade Federal de Santa Catarina, Trindade, região classificada como ACI no Plano Diretor do Município, Área Comunitária Institucional.

Esse foi o maior ambiente pesquisado, e também necessitou ser setorizado, devido a sua dimensão e também pelo fato de a área adjacente ser uma recepção e um local caracterizado por ser uma transição entre ambientes. O setor escolhido para ser monitorado

apresenta uma parede externa orientada a oeste com aproximadamente 85% de sua superfície envidraçada. Essa fachada apresenta dois jogos de esquadrias divididos em 12 planos de vidro, quatro linhas verticais e três horizontais. Os peitoris são de vidro fixo, já as partes centrais (as maiores) e as bandeiras são folhas de abrir do tipo *maxim ar*. As janelas apresentam proteção solar externa na porção superior (aproximadamente um terço da altura da janela) configurada por planos de concreto distantes 60 cm das janelas. Internamente, usam-se persianas horizontais de cor branca.

O local apresenta dez estações de trabalho, com ocupação máxima de nove indivíduos por período pesquisado (densidade média de 5,1 m<sup>2</sup> por pessoa). Além de um computador (*desktop*) por usuário em funcionamento, existem uma impressora e uma estufa de papel em uso no ambiente.

As imagens da Figura 17 e da Figura 18 e mostram a planta baixa e a configuração do ambiente em questão (foto tirada no dia 09 de julho de 2014), respectivamente. Não existem equipamentos complementares de ventilação em uso neste escritório, e há um equipamento de condicionamento de ar do tipo Split instalado no ambiente. Nesse ambiente foi realizado somente um experimento durante o período de clima frio da pesquisa, dia 09 de julho de 2014.

Figura 17 – Planta baixa do escritório do experimento 04 | No bairro Trindade em Florianópolis

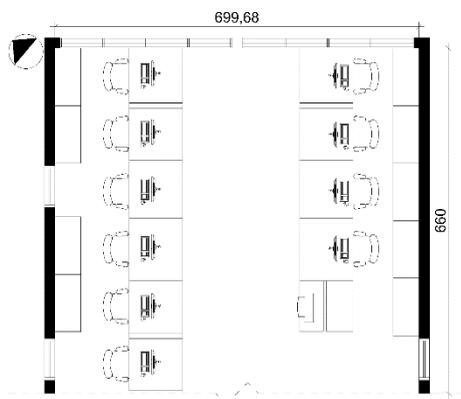


Figura 18 - Escritório 03, no bairro Trindade | Estudo 04, em 09 de julho de 2014



#### 3.2.1.4 Escritório 04 | Córrego Grande

O escritório 04 está no segundo andar de um prédio comercial na rua João Pio Duarte Silva, via principal do bairro Córrego Grande. O prédio apresenta lojas térreas com pé direito duplo e oito escritórios no segundo pavimento. A região é classificada como AMC 3.5, Área central mista com no máximo três pavimentos. Esta classificação compreende uma estreita faixa nas margens da via João Pio Duarte Silva, circundada por áreas classificadas como Residencial mista ou Residencial predominante.

O ambiente apresenta uma parede externa orientada a sul. O conjunto de aberturas apresenta uma pequena faixa de peitoril de vidro fixo e folha do tipo *maxim ar* na parte superior. A janela é composta por quatro folhas de vidro, duas fixas e duas móveis (as centrais). A parede externa apresenta aproximadamente 60% de sua superfície envidraçada e não há proteção solar externa nas janelas. Internamente, usa-se persianas horizontais de cor escura.

O local apresenta cinco estações de trabalho, com ocupação máxima de quatro indivíduos por período pesquisado (densidade média de 4,48 m<sup>2</sup> por pessoa) e uma área de entrada do escritório e reunião adjacente, separada por uma divisória de vidro. Além de um computador (*desktop*) por usuário em funcionamento, existem duas impressoras em uso no ambiente.

As imagens da Figura 19 e da Figura 20 mostram a configuração do ambiente em questão, planta e foto tirada no dia 05 de dezembro de 2014), respectivamente. Não existem equipamentos complementares de ventilação em uso neste escritório, e há um equipamento de condicionamento de ar do tipo Split instalado. Foram realizados dois experimentos nesse escritório, no período de frio e de calor, nos dias 28 de julho de 2014 e 05 de dezembro de 2014.

Figura 19 – Planta baixa do escritório dos experimentos 05 e 07 | No bairro Córrego Grande em Florianópolis

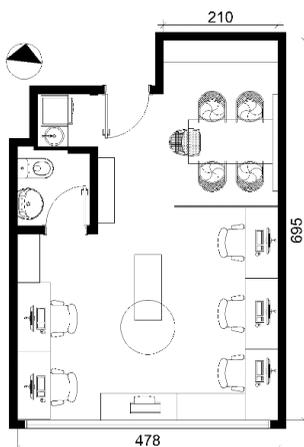


Figura 20 – Escritório 04, no bairro Córrego Grande | Estudo 07, em 05 de dezembro de 2014



### 3.2.2 Instrumentos de medição

Para a realização dos levantamentos de dados foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) Estação microclimática SENSU;
- b) Termoanemômetro portátil de fio quente;
- c) Termoanemômetro portátil de fio quente ALNOR;
- d) Medidor eletrônico de temperatura do ar e umidade (*datalogger*) HOBO Onset.

Existem alguns protocolos normatizados para a coleta de dados físicos a fim de se estimar o conforto térmico. Esses protocolos geralmente baseiam-se na norma ISO 7726 (1998), pois ela apresenta detalhes de como realizar uma medição precisa. No entanto, para Nicol et al. (2012) a precisão requerida por estes protocolos pode não ser extremamente necessária em muitos estudos de campo, além de requererem altos orçamentos. Os equipamentos utilizados para esta pesquisa são os disponíveis nos laboratórios de Conforto Ambiental (LabCon) e Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), respectivamente dos departamentos de Arquitetura e Urbanismo e Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

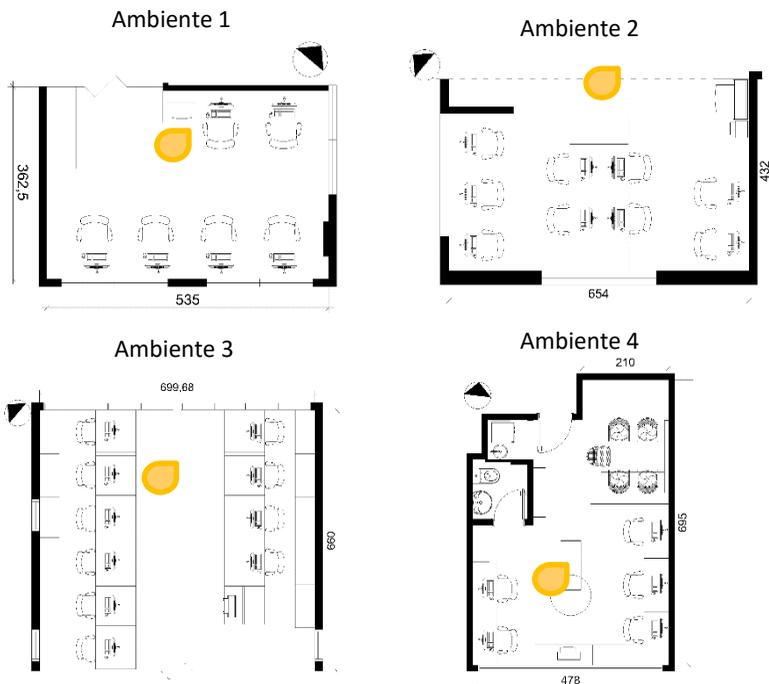
#### 3.2.2.1 Estação microclimática SENSU

A estação microclimática SENSU é um equipamento disponível no laboratório de Conforto Ambiental do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFSC e desenvolvido pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da Universidade Federal de Santa Catarina (LMPT/UFSC).

Antes do início das medições para esta pesquisa, a estação microclimática passou por duas calibrações no LMPT. As calibrações ocorreram no segundo semestre de 2013 e no primeiro semestre de 2014, em conjunto com a estação microclimática disponível no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina.

A posição das estações em cada ambiente de estudo está ilustrada no conjunto de imagens da Figura 21.

Figura 21 – Localização da estação microclimática SENSU



 Localização da estação microclimática SENSU nos quatro ambientes estudados.

### 3.2.2.2 Termoanemômetro portátil de fio quente

O termoanemômetro portátil de fio quente é um equipamento desenvolvido pelo Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da Universidade Federal de Santa Catarina (LMPT/UFSC), exclusivamente para os procedimentos da pesquisa em desenvolvimento no LabEEE. O equipamento foi cedido pelo mesmo, para a realização das duas medições de ajuste da metodologia e teste de equipamentos realizadas no início da pesquisa.

### 3.2.2.3 Termoanemômetro portátil de fio quente ALNOR

O termoanemômetro portátil de fio quente ALNOR é um equipamento disponível no Laboratório de Conforto Ambiental (Labcon/UFSC), de fabricação norte-americana, modelo 9870-M, Marca Alnor Instruments Company - SI Incorporated. Apresenta faixa de medição entre 0 e 20 m/s e precisão de  $\pm 5\%$ .

O uso desse termoanemômetro foi programado para a terceira fase de levantamento de dados, no período quente da pesquisa. Nas primeiras fases de medições, por conta do clima ameno a frio, a velocidade do ar não será considerada individualmente, já que a movimentação do ar nos ambientes não era significativa por conta das janelas fechadas na maior parte do tempo.

#### 3.2.2.4 Medidor eletrônico de temperatura do ar e umidade (*datalogger*) HOBO Onset

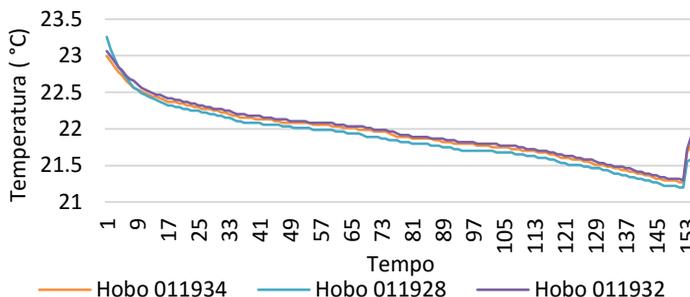
O medidor eletrônico de temperatura do ar e umidade HOBO Onset é um dispositivo equipado com sensores de temperatura do ar, umidade e iluminância. Ele registra os dados e necessita de um computador para iniciar os registros e exibir os dados coletados. Para este trabalho foram considerados apenas os dados de temperatura do ar e umidade relativa. Os equipamentos em uso são do modelo Hobo, da marca Onset e estão disponíveis no Laboratório de Conforto Ambiental (Labcon/UFSC).

Os três equipamentos em uso nesta pesquisa, de referência 011928, 011932 e 011934, foram mantidos em uma caixa de isopor por um período de aproximadamente 12 horas a fim de identificar se os desvios de cada um estariam dentro de uma faixa de acuracidade recomendada, como na ISO 7726 (1998), de 0,2°C para Temperatura do ar e 3% para umidade. Os desvios encontrados podem ser consultados na Tabela 3, e o comportamento da temperatura dos três equipamentos é descrito por meio do gráfico da Figura 22. O fator de erro foi calculado por meio da média entre as diferenças entre a medição média dos três equipamentos e a medição de cada equipamento em questão.

Tabela 3 - Desvios existentes entre os equipamentos do tipo HOBO Onset

Variável	Fator de erro dos equipamentos		
	Eq. nº 011934	Eq. nº 011928	Eq. nº 011932
Temperatura do ar (°C)	- 0,0083	0,052	- 0,043
Umidade Relativa (%)	- 0,04	0,35	- 0,30

Figura 22 - Temperatura do ar dos equipamentos HOBO Onset



### 3.2.3 Questionário

O questionário foi desenvolvido com base no Apêndice K da ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013) com modificações de acordo com os interesses investigativos desta pesquisa.

O questionário apresenta duas fases e pode ser visto no Apêndice A:

- a) Questões 1 a 7, que visam conhecer o entrevistado, por meio de suas características físicas e pessoais, vestimentas usadas no momento da entrevista, localização no ambiente pesquisado, e hábitos relacionados ao conforto térmico e ajuste/ adaptação ao seu ambiente térmico;
- b) Questões 8 a 15, que consistem na atribuição dos votos de sensação, preferência e aceitabilidade em relação ao ambiente térmico e movimentação do ar experimentada no momento das medições.

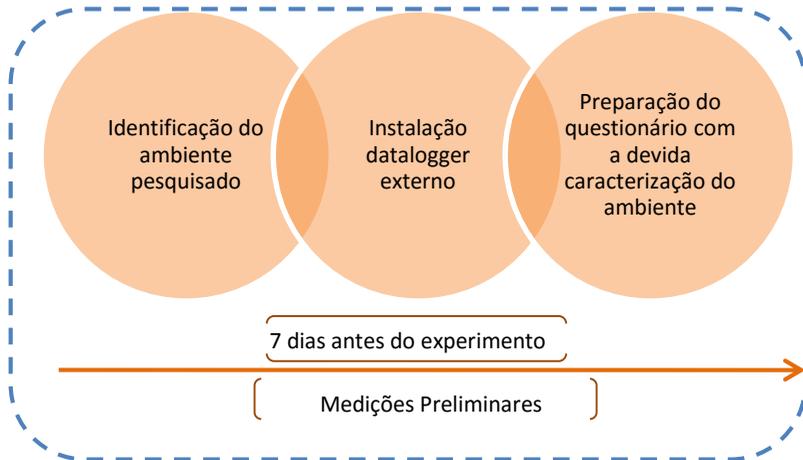
### 3.2.4 Procedimento de medição

#### 3.2.4.1 Medições Preliminares

Com no mínimo sete dias de antecedência ao experimento propriamente dito foi realizada uma visita ao local de medição para levantamento das características do ambiente e instalação do *datalogger* externo. A identificação do ambiente foi realizada por meio de fotografia, levantamento de dimensões e desenho (quando

necessário), localização e orientação. O esquema que ilustra este primeiro procedimento é observado na Figura 23.

Figura 23 - Procedimento de medição preliminar



O *datalogger* externo (Hobo) foi instalado geralmente em uma soleira de janela, protegido do sol e chuva. Foi confeccionada uma caixa de isopor, revestida de papel alumínio e com uma cobertura inclinada e ventilada. O sensor (Hobo) foi suspenso ao centro desta estrutura ventilada, que por sua vez ficava suspensa na soleira da edificação, conforme conjunto de imagens da Figura 24.

Figura 24 - Datalogger externo (HOBO Onset) e caixa de proteção para uso do equipamento em ambiente externo



#### 3.2.4.2 Levantamento em campo (manhã e tarde)

Após os dados de temperatura e umidade externas terem sido coletados por um período mínimo de sete dias, o experimento com as

medições de clima interno e aplicação dos questionários de satisfação e percepção térmicas pode ser realizado.

Para realizar o levantamento de dados, chega-se ao local de medição no horário em que o escritório a ser medido inicia suas atividades e a estação climática SENSU é instalada. Quarenta minutos após seu acionamento, os questionários podem ser aplicados. Esse tempo, aproximadamente uma hora entre o início das atividades no escritório e o início do experimento, também é o suficiente para que os ocupantes do lugar estabilizem sua taxa metabólica em relação à atividade sedentária exercida no escritório.

O questionário foi aplicado durante duas horas, com votos de sensação, preferência e aceitabilidade em relação ao ambiente térmico e movimentação do ar a cada 20 minutos, totalizando sete votos por experimento. À tarde, o procedimento é repetido aproximadamente uma hora após o início das atividades do escritório. Nesse intervalo, a estação climática não é desligada. Os esquemas da Figura 25 e da Figura 26 ilustram os procedimentos de medição.

Figura 25 - Procedimento de medição no período da manhã

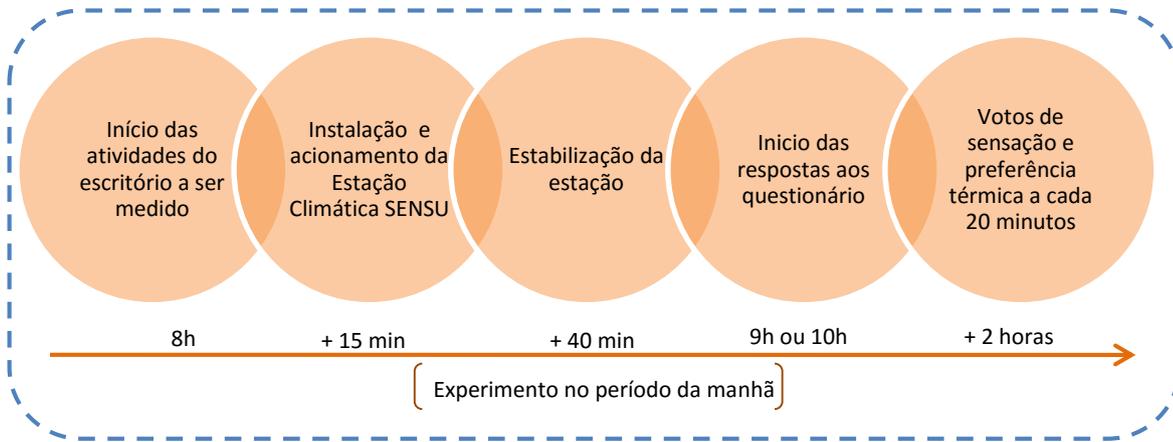
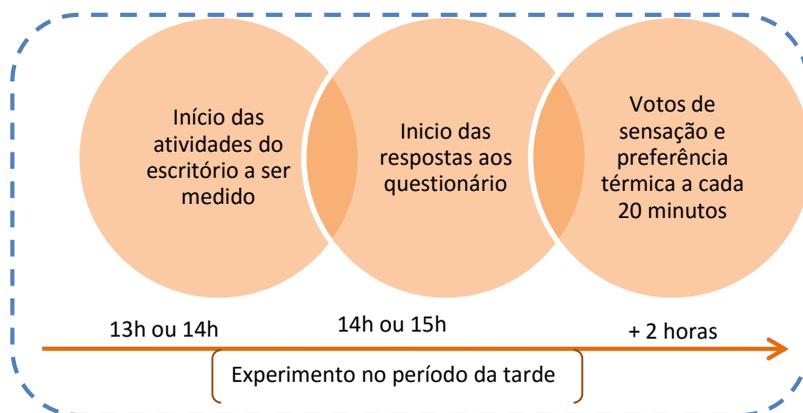


Figura 26 - Procedimento de medição no período da tarde



No intervalo entre a chegada ao escritório e início da medição propriamente dita, o questionário é apresentado aos ocupantes do ambiente com orientações específicas para as duas fases. A seção referente aos votos de sensação, preferência e aceitabilidade exige que seja exposta da forma mais clara possível, pois podem ocorrer (e ocorrem) dúvidas quanto ao preenchimento. Os objetivos e método da pesquisa também são expostos aos participantes.

#### 3.2.4.3 Medição das variáveis externas

Com o objetivo de abreviar a metodologia de medição, eliminando a instalação de *dataloggers* externos e, sobretudo para ter maior liberdade para realizar as medições a qualquer momento sem a preparação prévia dos dados externos, realizaram-se algumas comparações entre os dados da estação climática do INMET (Estação A806) e dados coletados em campo com *datalogger* externo.

As temperaturas de bulbo seco da estação e do *datalogger* para dois dias estão mostradas nos gráficos da Figura 27 e da Figura 28. A tendência nos dois casos é de no fim do dia, as diferenças entre as temperaturas reduzirem em menos de 1 °C. Entretanto, a diferença média durante as horas medidas fica em torno de 2,7 °C. Dessa forma, optou-se por manter as medições locais de clima externo com no mínimo sete dias de antecedência ao dia de estudo e utilizar os dados locais de temperatura de bulbo seco externo. A ocorrência de temperaturas mais elevadas na região de estudo pode ser atribuída à

influência do entorno edificado na elevação da temperatura. Considerando que uma estação climática deve medir dados climáticos representativos de uma região, ela geralmente está instalada em uma área plana, livre de perturbações como edificações e árvores.

Figura 27 – Temperatura de Bulbo Seco medida in loco (Ed. 01– Trindade) e TBS medida pela estação A806 do INMET localizada em Capoeiras - Dia 21/ 05 / 2014

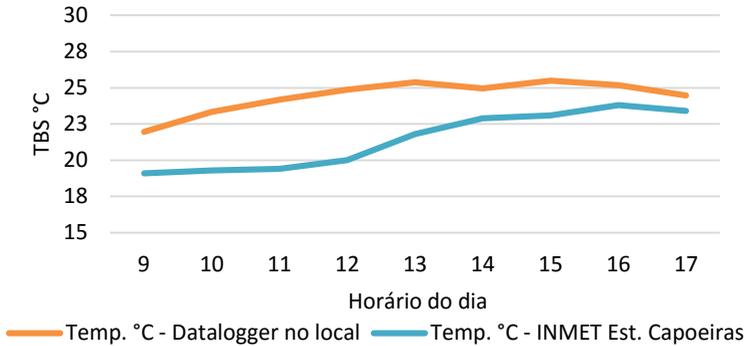
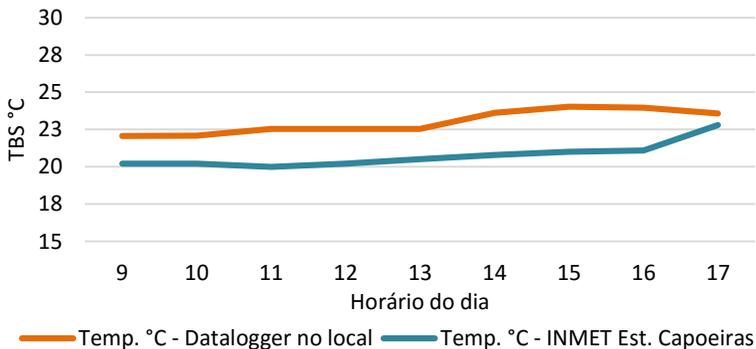


Figura 28 - Temperatura de Bulbo Seco medida in loco (Ed. 01 – Trindade) e TBS medida pela estação A806 do INMET localizada em Capoeiras - Dia 22 / 05 / 2014



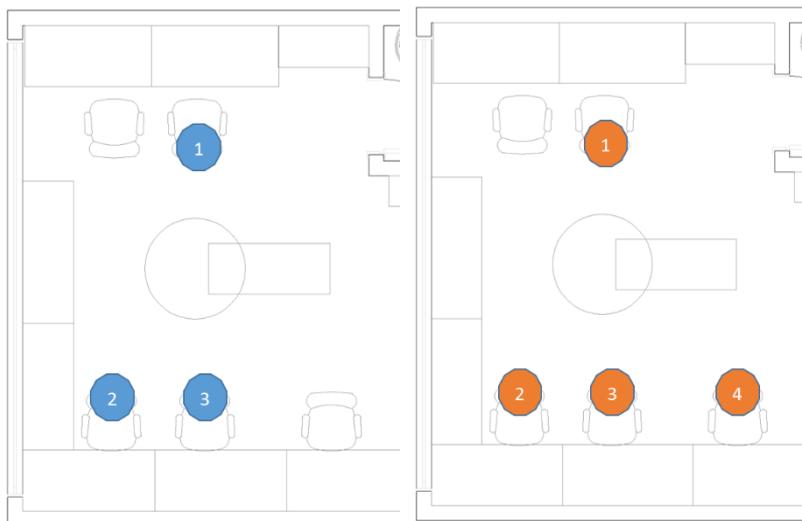
### 3.3 TRATAMENTO DOS DADOS

Para o tratamento dos dados coletados em campo a primeira ação necessária é transcrever todos os registros obtidos nos questionários de

papel para uma planilha, desde as informações da primeira etapa até os votos de sensação, preferência e aceitabilidade térmica. A devida localização do sujeito também é transcorrida para esta planilha de dados, como mostram os esquemas da Figura 29 e da Figura 30.

Figura 29 - Localização dos questionários aplicados no período da manhã – Experimento 05, dia 28/07/2014

Figura 30 - Localização dos questionários aplicados no período da tarde – Experimento 05, dia 28/07/2014



Nesse momento, também são identificados os votos válidos da pesquisa. Para isto, foram considerados votos espúrios aqueles que não foram respondidos, seja pela ausência do indivíduo pesquisado em sua estação de trabalho ou por algum motivo relacionado a sua atividade de trabalho ter o impedido de fornecer respostas no momento solicitado. Para caracterizar o isolamento da vestimenta de cada indivíduo pesquisado, a Tabela 5.2.2.2B *Garment Insulation*, da ASHRAE Standard 55 (2013) foi usada como referência. Atribuiu-se o valor de 0,10 clo equivalente a cadeira, conforme a classificação “*standard office chair*” da mesma norma e assumiu-se que todos os indivíduos usavam roupas íntimas (o que não foi solicitado no questionário).

A respeito das variáveis ambientais, os seguintes tratamentos foram dados:

- a) Cálculo da temperatura radiante média a partir da temperatura de globo, segundo a norma ISO 7726 (1998), conforme as Equações 16 e 17:

Para convecção natural e globo negro padrão:

$$t_r = \left[ (t_g + 273)^4 + 0,4 \times 10^8 |t_g - t_a|^{1/4} \times (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (16)$$

Para convecção forçada e globo negro padrão:

$$t_r = \left[ (t_g + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 \times v_a^{0,6} (t_g - t_a) \right]^{1/4} - 273 \quad (17)$$

Onde:

$t_r$  = Temperatura radiante média (°C);

$t_g$  = Temperatura de globo (°C);

$t_a$  = Temperatura do ar (°C);

$v_a$  = Velocidade do ar (m/s).

- b) Cálculo da temperatura operativa conforme ASHRAE Standard 55 (2013):

Por definição, temperatura operativa é a temperatura uniforme das superfícies de um ambiente imaginário no qual o ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação mais convecção que no ambiente real não uniforme (ASHRAE, 2013). O apêndice B da mesma norma determina três formas para cálculo da temperatura operativa. Nesse trabalho, foi possível calculá-la por meio do método simplificado, o Caso 3, limitado a ocupantes com taxa metabólica entre 1,0 e 1,3 met; sem radiação solar direta, com velocidade do ar inferior a 0,2 m/s e com diferença entre temperatura radiante média e temperatura do ar inferior a 4°C. Este método corresponde a média simples entre a temperatura radiante média e temperatura do ar, conforme Equação 18.

$$t_o = \frac{t_r + t_{ar}}{2} \quad (18)$$

Onde:

$t_o$  = Temperatura Operativa (°C);

$t_r$  = Temperatura radiante média (°C);

$t_{ar}$  = Temperatura do ar (°C).

- c) Cálculo da temperatura externa média predominante:

A temperatura externa média predominante (*prevailing mean outdoor air temperature*) pode ser calculada como a média simples das temperaturas médias diárias do ar, para no mínimo sete dias e no máximo 30 dias que antecedem o dia de estudo (ASHRAE, 2013).

- d) Cálculo da temperatura média externa exponencialmente ponderada

Ambas as normas ASHRAE Standard 55 (2013) e EN 15251 (2007) trazem o método de cálculo ponderado da temperatura externa predominante (*exponentially weighted running mean temperature*), conforme Equação 19. Diferentemente da norma americana, que sugere o uso do coeficiente  $\alpha$  entre 0,6 e 0,9, a norma européia recomenda o uso de  $\alpha = 0,8$ .

$$T_{me} = (1 - \alpha)[t_{e(d-1)} + \alpha t_{e(d-2)} + \alpha^2 t_{e(d-3)} + \alpha^3 t_{e(d-4)} + \dots] \quad (19)$$

Onde:

$T_{me}$  = Temperatura média exponencialmente ponderada;

$\alpha$  = Constante entre 0 e 1 que controla a velocidade com que a média ponderada responde às mudanças de clima externo;

$t_{e(d-1)}$  = Temperatura média do dia anterior;

$t_{e(d-2)}$  = Temperatura média do dia anterior ao  $t_{e(d-1)}$ , e assim por diante.

Foram realizados testes com  $\alpha=0,60$ ,  $\alpha=0,70$  e  $\alpha=0,80$  e as temperaturas médias externas ponderadas resultaram em valores muito semelhantes para ambos os três valores, assim como para a média aritmética simples, com variações na ordem dos 0,3 °C. Assim, optou-se por utilizar  $\alpha=0,70$  para a caracterização do clima externo do presente trabalho, pois ele se ajusta bem ao período de sete dias de dados disponíveis de clima externo.

- e) Cálculo da temperatura de conforto e limites mínimo e máximo de conforto a partir das normas AHRAE 55 (2013) e EN 15251 (2007):

As temperaturas de conforto utilizadas como referência para este trabalho estão na Tabela 4.

Tabela 4 - Temperatura e limites de conforto térmico

Norma	Temperatura de Conforto	Intervalo	
		ASHRAE Std. 55 (2013)	$17,8 + 0,31 * T_m$
	$17,8 + 0,31 * T_m$	$\pm 3,5 \text{ }^\circ\text{C}$	80% Aceitabilidade
EN 15251 (2007)	$18.8 + 0.33 * T_m$	$\pm 3,0 \text{ }^\circ\text{C}$	Categoria II *

Nota: Categoria II – Nível normal de expectativa, podendo ser usado para novas edificações e reformas.

### 3.4 ANÁLISE DOS DADOS

A análise dos dados compreende uma abordagem qualitativa das condições de conforto térmico e observações realizadas em campo com o auxílio de tratamento estatístico dos dados. Relações estatísticas foram implementadas, principalmente, sobre a segunda fase do questionário, a fim de relacionar a percepção térmica dos indivíduos pesquisados (informações subjetivas) com as condições ambientais promovidas pelo clima e edificação.

As informações subjetivas coletadas envolvem votos de aceitabilidade ao ambiente térmico; votos de sensação térmica; votos de preferência térmica; e votos de aceitabilidade e preferência em relação a movimentação do ar. No período de verão foram inseridas duas questões sobre a transpiração do indivíduo.

#### 3.4.1 Aceitabilidade Térmica

Aceitabilidade térmica pode ser definida como a expressão da satisfação térmica com um ambiente e é usada para determinar o intervalo de temperatura aceitável, ou seja, a zona de conforto deste ambiente térmico. Conforme Indraganti et al. (2013, 2014) o voto de aceitabilidade térmica é complexo, pois depende das temperaturas interna e externa, memória térmica, expectativas, controle do ambiente, idade e gênero. Além disto, acreditam que possa haver equívoco na interpretação do termo aceitabilidade. A aceitabilidade em relação ao ambiente térmico foi solicitada por meio da pergunta “*Para você, este ambiente térmico é: ( ) Aceitável/( ) Inaceitável*”.

Os votos de aceitabilidade térmica foram tratados de forma absoluta, em função da temperatura operativa medida no momento dos votos e da temperatura externa predominante, calculada a partir da média exponencialmente ponderada, conforme descrito no item a respeito do tratamento dos dados. Nesse cenário, para a análise de influência dos parâmetros ambientais e pessoais, os votos foram classificados a partir de intervalos de nível de isolamento da vestimenta, umidade relativa do ar e velocidade do ar. Como trata-se de votos absolutos, a frequência de ocorrência em função da temperatura operativa também será observada.

### **3.4.2 Sensação Térmica**

A sensação térmica pode ser abordada como um indicador da percepção térmica de um indivíduo que combina as variáveis do ambiente térmico com as variáveis pessoais. Ela foi abordada a partir da questão *“Qual é a sua sensação térmica neste momento?”*, e as respostas adquiridas por meio da escala sétima de sensação térmica da ASHRAE que apresenta as seguintes categorias: com muito calor (3), com calor (2), levemente com calor (1), neutro (0), levemente com frio (-1), com frio (-2) e com muito frio (-3). A Tabela 5 traz a escala sétima de sensação térmica.

Primeiramente, os votos de sensação térmica absolutos foram relacionados às temperaturas operativas medidas no momento do fornecimento do voto, seccionados por período da pesquisa: clima ameno, frio e quente.

Assim como os votos de aceitabilidade, a frequência de ocorrência dos votos de sensação térmica foram observados em função da temperatura operativa e adicionalmente, a frequência de ocorrência dos votos foram analisadas por levantamento em campo considerando a temperatura operativa média do turno da pesquisa.

Para a análise de influência dos parâmetros ambientais e pessoais, os votos de sensação térmica também foram classificados a partir de intervalos de nível de isolamento da vestimenta, umidade relativa do ar e velocidade do ar.

Tabela 5 - Escala sétima de sensação térmica da ASHRAE

Com muito calor	3
Com calor	2
Levemente com calor	1
Neutro	0
Levemente com frio	-1
Com frio	-2
Com muito frio	-3

### 3.4.3 Preferência Térmica

A solicitação de votos de preferência térmica de um indivíduo busca traduzir a sensação térmica desejada a partir da exposição a um ambiente térmico. A preferência térmica dos indivíduos foi abordada a partir da questão *“Como você gostaria de estar se sentindo neste momento?”*. Tradicionalmente, usa-se a escala de três pontos de McIntyre que apresenta as seguintes categorias: *“mais aquecido”*, *“mais resfriado”* e *“assim mesmo”*. Neste trabalho, assim como o questionamento sobre sensação térmica, foi utilizada a escala sétima da ASHRAE para resposta, conforme visto na Tabela 5. Adotou-se a escala sétima no lugar da escala de McIntyre para o voto de preferência térmica a fim de explorar a associação direta entre sensação térmica neutra e conforto térmico, pois como visto em Humphreys e Hancock (2007), o valor ótimo de conforto térmico pode não estar fixado no *“zero”* da escala, podendo assumir outros valores. Dessa forma, para normalizar os resultados à forma tradicional de representação da preferência térmica na escala *“mais aquecido”*, *“assim mesmo”* e *“mais resfriado”*, o procedimento descrito no Quadro 5 foi realizado.

Quadro 5 - Ajuste do voto de preferência térmica inquirido por meio da escala sétima para a escala de McIntyre

	Escala sétima da ASHRAE	Escala de três pontos de McIntyre
Se	Preferência térmica > sensação térmica	“mais aquecido”
	Preferência térmica < sensação térmica	“mais resfriado”
	Preferência térmica = sensação térmica	“assim mesmo”

A frequência de ocorrência dos votos de preferência térmica em função dos períodos da pesquisa foi observada para ambas as escalas, para as quais os votos de preferência térmica foram trabalhados.

#### 3.4.4 Análise de influência de parâmetros pessoais e ambientais

Sabe-se que a abordagem adaptativa assume a temperatura sob controle das oportunidades adaptativas como a condicionante de conforto térmico. Como o contexto adaptativo permite que pessoas mudem suas roupas, sua atividade, sua postura e quando a edificação permite, a temperatura, o movimento do ar e até a umidade podem ser alteradas (NICOL, 2004), assume-se que a influência dos outros parâmetros já estão abordados pelo modelo, assim como a ASHRAE Standard 55 (2013) alerta que efeitos de desconforto térmico localizado, isolamento da vestimenta, taxa metabólica, umidade e velocidade do ar já estão incluídos na equação de conforto do modelo e não exigem uma avaliação adicional. Por outro lado, a relação entre isolamento da vestimenta com a temperatura externa tem sido investigada, como em De Dear et al. (1997); a influência do movimento do ar na sensação térmica tem sido amplamente pesquisada, como em Indraganti et al. (2013 e 2014), além de já ser adotada nas normas ASHRAE Standard 55 (2013) e EN 15251 (2007) como fator de correção dos limites de conforto determinados pela abordagem adaptativa; e por último, a influência da umidade do ar na sensação térmica também tem sido investigada em pesquisas de campo, como em Dhaka et al. (2014).

Dessa forma, esta parte do trabalho busca explorar as relações entre o voto de sensação térmica, isolamento da vestimenta (fator

peçoal) e parâmetros ambientais às quais os indivíduos pesquisados estão expostos. As análises foram realizadas por meio de regressões lineares simples, combinando as variáveis pessoais (voto médio de sensação térmica e valor médio de isolamento da vestimenta) com as variáveis ambientais (temperatura do ar, em °C; temperatura radiante média, em °C; umidade relativa interna; velocidade do ar interna, em m/s; temperatura de bulbo seco externa, em °C; umidade relativa externa; e temperatura externa predominante calculada por meio da média exponencialmente ponderada com coeficiente de  $\alpha = 0,7$ , conforme explicitado no método). As análises de correlação foram realizadas separadamente para as variáveis internas e externas, assim como para toda a amostra pesquisada e os três períodos climáticos da pesquisa.

As variáveis isolamento da vestimenta, umidade relativa interna e velocidade do ar foram abordadas individualmente a partir dos votos absolutos de aceitabilidade e sensação térmica, como já explicitado nos itens sobre a percepção do usuário em relação ao ambiente térmico.

#### **3.4.5 Temperatura neutra da amostra pesquisada**

A temperatura neutra do estudo corresponde a neutralidade térmica da amostra pesquisada, em função de uma temperatura operativa. Para isso, uma regressão linear entre os votos de sensação térmica médios e temperatura operativa foi aplicada para todos os dados da pesquisa. Um intervalo de conforto foi determinado a partir da relação entre sensação térmica e percentual de insatisfeitos, conforme ilustra a curva de relação entre PMV e PPD. Este método tradicional assume que a insatisfação está associada com votos de sensação térmica  $\pm 2$  e  $\pm 3$  na escala sétima da ASHRAE (DE DEAR et al. 1997). As temperaturas neutras para cada período da pesquisa (ameno, frio e quente) também foram calculadas a fim de reconhecer a influência do clima externo na determinação da temperatura neutra, a partir das condições internas do ambiente.

Dada a importância do clima externo para o trabalho, e a fim de construir uma linha de temperatura de conforto compatível a amostra pesquisada, por meio da relação entre a temperatura neutra e a temperatura externa, foram selecionados os votos médios de sensação térmica equivalente ao voto neutro (VST=0) de todo o estudo e realizada

a regressão linear com a temperatura exterior predominante correspondente. Essa foi calculada a partir da média exponencialmente ponderada, conforme explicitado no item sobre tratamento dos dados. A mesma relação foi estabelecida entre os valores de sensação térmica dentro do intervalo de sensação térmica média de “levemente com frio” (VST=-1) e “levemente com calor” (VST=1).

Vê-se a importância de esclarecer o uso dos termos temperatura neutra e temperatura de conforto no presente estudo e na abordagem adaptativa. Conforme visto na revisão bibliográfica, as primeiras relações estabelecidas por Humphreys na década de 70 usavam o termo temperatura neutra, tanto para referir-se às condições internas (em relação à temperatura de globo), quanto para referir-se às condições externas (temperatura externa predominante). Os autores posteriores passam a utilizar o termo temperatura de conforto para as relações estabelecidas com a temperatura externa predominante. Dessa forma, pesquisas recentes, assim como esse estudo, referem-se à temperatura neutra quando for relacionada às condições internas (temperatura de globo, de ar ou operativa) e temperatura de conforto quando for relacionada à temperatura externa predominante.

### 3.4.6 Uso das oportunidades adaptativas

A fim de reconhecer o contexto de oportunidades de modificação dos ambientes estudados, assim como entender a atuação dos indivíduos neste contexto, além das observações do pesquisador em campo, duas questões foram realizadas na primeira etapa do questionário, com esse fim: *“Você utiliza algum tipo de controle ou ajuste do conforto térmico deste ambiente (janela, ventilador, etc) no seu dia a dia?”* e *“Marque no primeiro quadro a maneira que é feito o controle ou ajuste do conforto térmico do ambiente (caso tenha respondido “SIM” na questão anterior) e no segundo, a que você gostaria de estar utilizando neste momento: (  ) Persianas ou Cortinas; (  ) Janelas; (  ) Ar condicionado; (  ) Ventilador; (  ) Aquecedor portátil; e outros (  ).”*

Com base nesses questionamentos, também foi possível observar os usos e percepções sobre a atuação do indivíduo para modificar seu ambiente térmico para cada período da pesquisa.

### **3.4.7 Particularidades das edificações e seus usuários na promoção de conforto térmico**

O nível de atuação do sujeito no ato de adaptar-se está fortemente ligado a fatores exteriores a ele, seu contexto, que De Dear et al. (1997, p. 8) definem como “oportunidades adaptativas”. Por meio do questionário abordou-se os tipos de controle de conforto térmico utilizados pelos indivíduos, item 3.4.8. Em campo, observou-se as características da edificação (localização, orientação e tipo das aberturas, existência ou não de proteção solar externa e persianas internas) e a atuação dos usuários no ambiente (abertura e fechamento de janelas e persianas).

## 4 RESULTADOS

Foram realizadas oito investigações em campo, cada uma nos períodos da manhã e tarde, divididas em três etapas de acordo com o clima: duas no período ameno, três no período frio e três no período quente. Em vista disto, no período quente não foi possível realizar investigação em dois dos quatro ambientes que iniciaram o estudo, devido ao fato do aparelho de condicionamento de ar estar sendo usado sistematicamente todos os dias desde o mês de novembro de 2014.

O quadro resumo das investigações em campo consta na Tabela 6, que contabiliza os questionários aplicados, votos válidos, gênero, média de idade e nível médio de isolamento da vestimenta (em *clo*) do dia pesquisado, de acordo com a fase de realização da coleta em campo.

Tabela 6 - Resumo dos dados coletados em campo

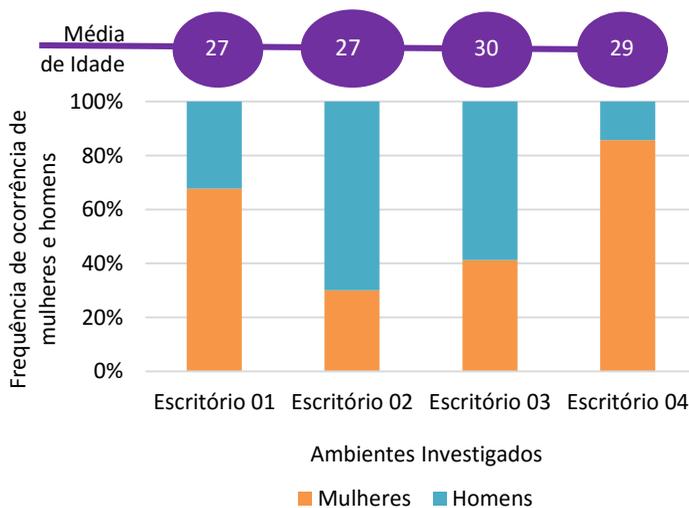
Período	Coleta de dados	Data	Questionários aplicados	Votos válidos	Gênero		Média de idade	Isol. médio da Vestimenta(clo)
					F	M		
01 Ameno	01	22/05/2014-manhã	5	35	4	1	26	0,85
		22/05/2014-tarde	4	25	3	1	26	0,79
	02	23/05/2014-manhã	4	28	3	1	24	0,77
		23/05/2014-tarde	3	21	2	1	25	0,80
<b>Subtotal 1</b>			<b>16</b>	<b>109</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>25</b>	<b>0,80</b>
02 Frio	03	20/06/2014-manhã	5	29	2	3	28	0,92
		20/06/2014-tarde	5	28	1	4	26	0,85
	04	09/07/2014-manhã	8	50	3	5	33	0,93
		09/07/2014-tarde	9	60	4	5	27	0,91
	05	18/07/2014-manhã	3	18	2	1	30	1,07
		18/07/2014-tarde	4	26	4	0	28	1,18
<b>Subtotal 2</b>			<b>34</b>	<b>211</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>29</b>	<b>0,98</b>
03 Calor	06	04/12/2014-manhã	5	35	4	1	27	0,46
		04/12/2014-tarde	3	21	2	1	28	0,46
	07	05/12/2014-manhã	3	19	2	1	29	0,52
		05/12/2014-tarde	4	24	4	0	29	0,52
	08	30/01/2015-manhã	3	18	1	2	27	0,42
		30/01/2015-tarde	4	18	2	2	28	0,42
<b>Subtotal 3</b>			<b>22</b>	<b>135</b>	<b>15</b>	<b>7</b>	<b>28</b>	<b>0,47</b>
<b>TOTAL</b>			<b>72</b>	<b>455</b>	<b>43</b>	<b>29</b>	<b>27</b>	<b>0,75</b>

Nota: Percentual de votos espúrios 7,1% (considera apenas os votos não respondidos)

#### 4.1 POPULAÇÃO PESQUISADA

Foram quatro ambientes de escritório investigados, contabilizando 72 participantes nos oito dias de experimento. Desses, 59,7% eram mulheres e 40,3% eram homens. Os ambientes 1, 2 e 4 são escritórios de arquitetura, e o ambiente 3 exerce atividades administrativas. Os escritórios 1 e 4 apresentaram a população composta por mulheres em sua grande maioria, mais de 60%. O escritório 3 apresentou a distribuição mais equilibrada em relação ao gênero. As médias de idade dos ambientes pesquisados são muito próximas, entre 27 e 30 anos. A Figura 31 ilustra a distribuição da população pesquisada por gênero e média de idade correspondente a cada ambiente pesquisado.

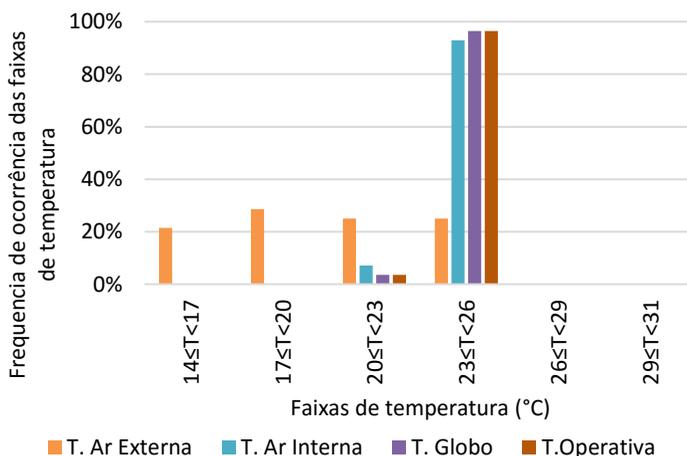
Figura 31 - Distribuição da população investigada por gênero e média de idade para cada ambiente investigado



## 4.2 VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Cada período da pesquisa (clima ameno, frio e quente) apresentou faixas de temperaturas predominantes específicas e características ao clima corrente. No período ameno observou-se a distribuição da temperatura do ar externo em uma faixa mais extensa de temperaturas, entre 14°C e 26°C, tratando-se das temperaturas médias horárias registradas durante os períodos de medição. Entretanto, as temperaturas internas (do ar, de globo e operativa) apresentaram mais de 90% de sua ocorrência na faixa entre 23°C e 26°C. Isso se deve parte em decorrência do ganho de calor por insolação na fachada nordeste pelas manhãs (visto que as medições do período ameno fora realizadas no ambiente 1) e parte em decorrência da carga interna do ambiente, proveniente da atividade metabólica dos ocupantes e do calor gerado pelos equipamentos. A distribuição da frequência de ocorrência das temperaturas medidas e calculadas no período ameno é apresentada no gráfico de barras da Figura 32.

Figura 32 - Frequência de ocorrência das temperaturas externa e internas monitoradas e calculadas no período ameno



No período frio observou-se uma distribuição das temperaturas do ar externo em um intervalo menor que no período ameno, sendo a maior ocorrência, pouco mais de 50%, na faixa entre 17°C e 20°C. A maior amplitude de temperatura do ar no período ameno (outono nesse

estudo) pode ser explicada pela ocorrência de níveis de umidade do ar mais baixos nesta época do ano em Florianópolis, ao passo que, tipicamente, os níveis mais altos de umidade ocorrem nos meses de junho e julho. Desse modo, mesmo que o estudo tenha mostrado pequena diferença nos índices de umidade entre os períodos ameno e frio, a umidade relativa foi superior no período frio da pesquisa. As temperaturas internas (no período frio) distribuem-se com maior frequência entre os intervalos de 17 e 20°C e 20°C e 23°C, apresentando a temperatura do ar uma ocorrência significativa (aproximadamente 10%) no menor intervalo determinado, entre 14°C e 17°C.

As temperaturas correspondentes ao período quente mostram o predomínio da temperatura do ar externo entre 23°C e 29°C, bem distribuída nos dois intervalos determinados (23°C a 26°C e 26°C a 29°C). Já as temperaturas (monitoradas e calculadas) internas estão predominantemente (acima de 70% de ocorrência) na faixa entre 26°C e 29°C. Esse cenário interno permite pressupor que, possivelmente, parte dos ocupantes estejam em desconforto, considerando como referência normas sobre ergonomia no ambiente de trabalho, como a NR 17 e ISO 9241, que estipulam intervalos entre 20°C e 23°C e entre 20°C e 24°C, respectivamente. Além disso, pesquisas de Indraganti et al. (2014), Indraganti et. al (2013) e Karyono (2000) mostraram temperaturas neutras em ambientes naturalmente ventilados de 27,3°C, 25,6°C e 26,7°C, nessa ordem.

Os gráficos da Figura 33 e da Figura 34 trazem os intervalos de temperatura mencionados, eixo (x), e a frequência de ocorrência de temperatura, eixo (y), dentro desses intervalos para os períodos frio e quente, respectivamente.

Figura 33 - Frequência de ocorrência das temperaturas externa e internas monitoradas e calculadas no período frio

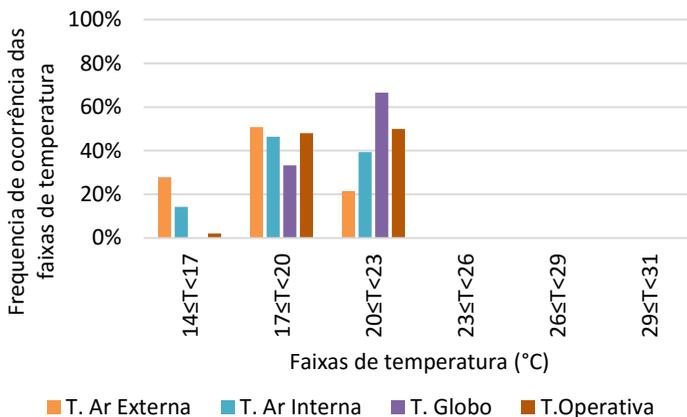
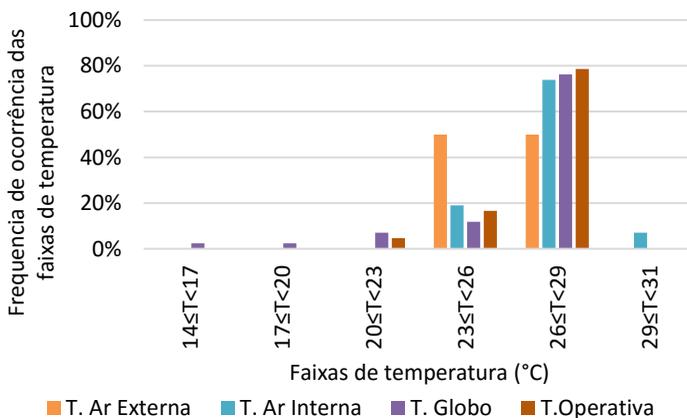


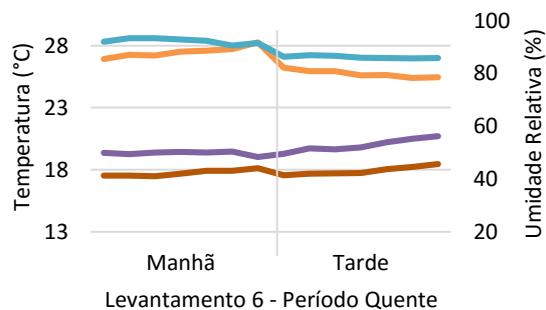
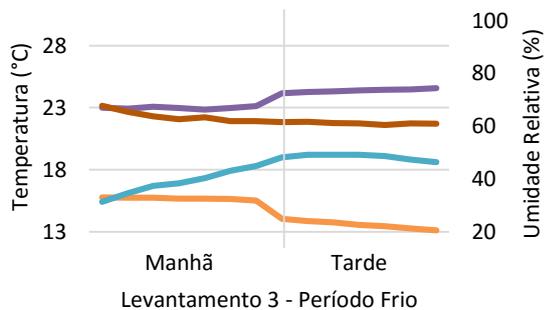
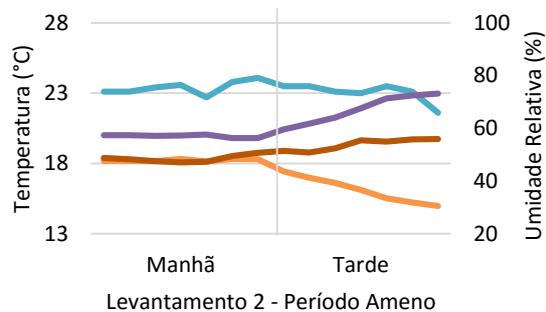
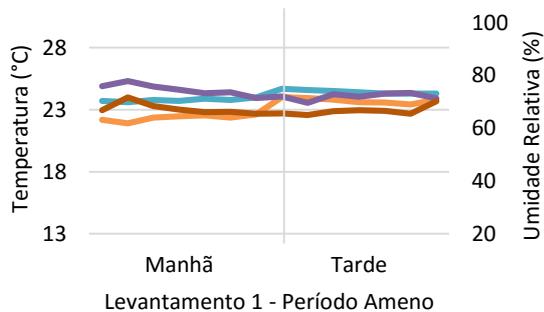
Figura 34 - Frequência de ocorrência das temperaturas externa e internas monitoradas e calculadas no período quente

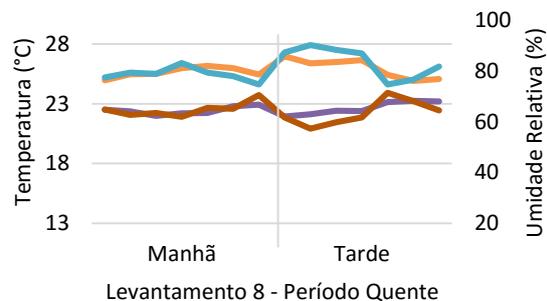
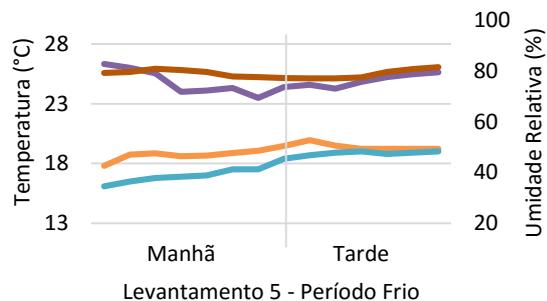
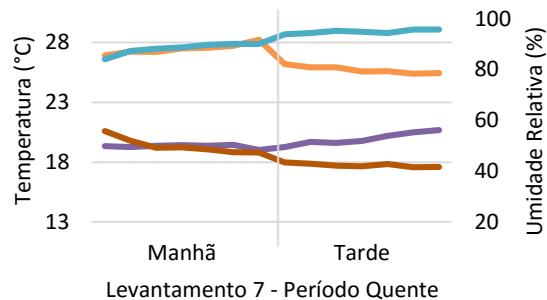
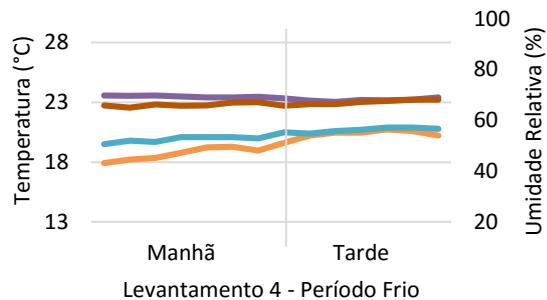


Os níveis de umidade relativa do ar monitorados foram inferiores ao esperado nos três períodos da pesquisa. Sabe-se que, a partir de dados climáticos históricos, Florianópolis apresenta umidade relativa do ar média em torno de 80% em todos os meses do ano. No entanto, durante os dias de investigação desta pesquisa a umidade relativa média externa foi de 68%, 71% e 56%, respectivamente, para os períodos

ameno, frio e quente. O conjunto de gráficos da Figura 35 mostra as temperaturas do ar e umidade relativa interna e externa, nos eixos principal e secundário das ordenadas (y), referente aos períodos de levantamento em campo nos oito dias de estudo, informando no eixo das abscissas (x) o turno da medição (manhã e tarde). No primeiro levantamento, período ameno, percebe-se as variáveis oscilando pouco no decorrer do dia. No segundo dia em campo nota-se a queda da temperatura do ar no período da tarde e conseqüentemente o aumento da umidade relativa. Em todos os dias observados vê-se que a variação diurna da temperatura do ar influencia nas variações da umidade relativa, mesmo que esta oscilação tenha baixa amplitude. Nos períodos frio e quente é clara a oposição entre baixas temperaturas e altas umidades (superiores a 60% no período frio) e altas temperaturas e baixas umidades (inferiores a 60% no período quente).

Figura 35 - Temperatura do ar e umidade relativa externa e interna para todos os levantamentos em campo





— T. Ar Ext. — T. Ar Int. — U.R. Ext. — U. R. Int.

### 4.3 PERCEPÇÃO DO USUÁRIO EM RELAÇÃO AO AMBIENTE TÉRMICO

A segunda fase do questionário abordou as seguintes questões: *“Qual é a sua sensação térmica neste momento?”*; *“Como você gostaria de estar se sentindo neste momento?”*. Também abordou a aceitabilidade ao ambiente térmico: *“Para você, este ambiente térmico é: ( ) aceitável/( ) inaceitável”*. Para os questionamentos sobre sensação térmica e preferência térmica foi utilizada a escala de sete pontos da ASHRAE para resposta conforme descrito no método.

Também foram solicitadas a sensação e preferência em relação ao movimento do ar, e para o período quente, foi adicionada uma questão sobre transpiração e se isto causava desconforto ao indivíduo.

#### 4.3.1 Aceitabilidade térmica

O termo aceitabilidade pode ser entendido como satisfação ou tolerância, podendo refletir o estado de conforto térmico. Essa incerteza pôde ser observada nos levantamentos de dados em campo, pois este questionamento gerou frequentes dúvidas e comentários por parte dos indivíduos no decorrer da pesquisa no sentido que os participantes tendiam a ampliar o julgamento de aceitabilidade para além da percepção térmica. Para De Dear et al. (1997) o questionamento direto sobre aceitabilidade não produz uma relação estatística significativa com as condições ambientais e a natureza deste questionamento deve ser melhor investigada.

As condições ambientais dos escritórios pesquisados apresentaram 76,3% de conformidade com o intervalo de temperatura correspondente a 80% de aceitabilidade determinado pela ASHRAE Standard 55 (2013). Ou seja, as temperaturas operativas calculadas para as quatro edificações durante toda a pesquisa encontravam-se no intervalo de aceitabilidade de 80% proposto em 76,3% do total da pesquisa. Índice que cai para 43,5 % para o intervalo de 90% de aceitabilidade e para 30,8% para a categoria II da EN15251 (2007). Os votos de aceitabilidade da pesquisa e a conformidade dos votos com os intervalos de temperatura aceitáveis para as normas ASHRAE Standard 55 (2013) e EN 15251 (2007) são detalhados na Tabela 7. Essa tabela traz na primeira coluna os votos de aceitabilidade informados nos

questionários, o que mostrou um alto índice de aceitabilidade por parte dos pesquisados em relação ao seu ambiente térmico, 89,9%. Valor muito próximo ao encontrado por De Vecchi (2011), em uma pesquisa de campo realizada em salas de aula em Florianópolis, 86%. As três colunas seguintes mostram a conformidade dos votos de aceitabilidade ou inaceitabilidade informados nos questionários aos intervalos de aceitabilidade da ASHRAE Standard 55 (2013) e a categoria II da EN 15251 (2007).

Tabela 7 – Votos de aceitabilidade ao ambiente térmico e conformidade com as normas ASHRAE Std. 55 (2013) e EN 15251 (2007)

Votos de Aceitabilidade		Conformidade – Votos de Aceitabilidade e Modelo Adaptativo de Conforto Térmico			
		ASHRAE Std. 55 – 80%	ASHRAE Std. 55 – 90%	EN15251 – Cat. II	
<i>Votos</i>	Sim	405	319	184	123
<i>Participação</i>	89%		78,8%	45,4%	30,4%
<i>Votos</i>	Não	50	28	14	17
<i>Participação</i>	11%		56%	28%	34%
<i>Votos</i>	Total	455	347	198	140
<i>Participação</i>	100%		76,3%	43,5%	30,8%

Em resumo, de acordo com a ASHRAE Standard 55 (2013), 70% de toda a população investigada (319 votos de 455) considera o ambiente térmico aceitável dentro do limite de 80% de aceitabilidade proposto pela referida norma. Para 90% de aceitabilidade, a parcela da população era de 40% (184 votos de 455); e para a categoria II da norma EN 15251, 27% dos indivíduos pesquisados demonstraram aceitabilidade em relação ao ambiente térmico. Observou-se que a baixa conformidade dos votos de aceitabilidade fornecidos pelos indivíduos pesquisados com os intervalos da norma ocorreu sob condições de clima frio, o que mostra que as normas de referência apresentam limites de conforto inferiores a aceitabilidade da população pesquisada.

Os gráficos da Figura 36 e da Figura 37 trazem os votos absolutos de aceitabilidade térmica relacionados aos intervalos de conforto nas normas ASHRAE Standard 55 (2013) e EN 15251 (2007), respectivamente. No eixo das abscissas (x) estão as temperaturas externas predominantes, calculadas conforme explicitado no método, e no eixo das ordenadas (y) as temperaturas operativas, calculadas a partir

dos dados do momento do voto. Os gráficos registram os 455 votos, fornecidos pelos 72 questionários aplicados em oito dias de levantamento de dados em campo, durante duas horas do período da manhã e da tarde. Como se tratam de dados absolutos, há a sobreposição das informações no gráfico. Observa-se que há votos de aceitação abaixo dos limites inferiores das normas, assim como votos de não aceitação dentro dos intervalos de aceitabilidade estipulados pelas normas .

Figura 36 – Votos de aceitabilidade ao ambiente térmico para toda a população pesquisada

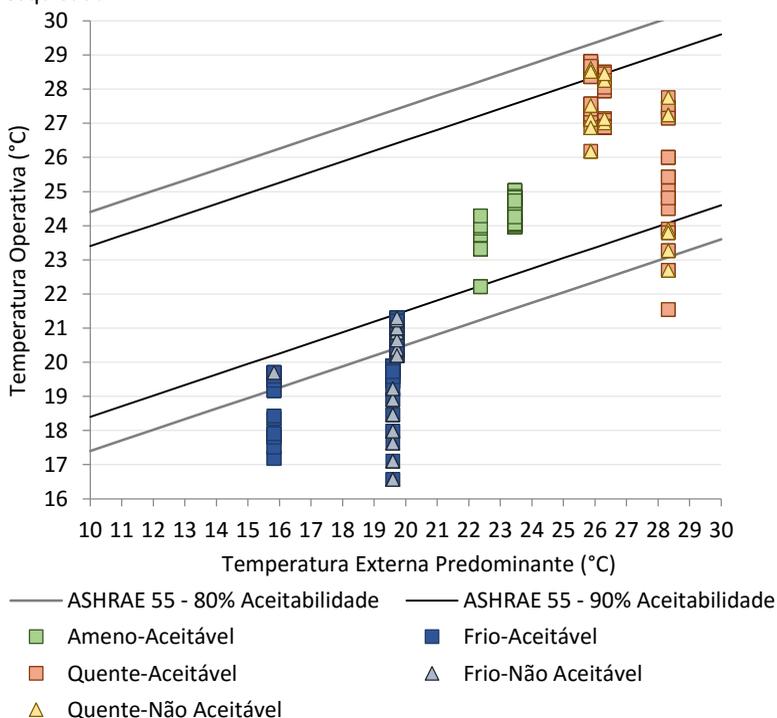
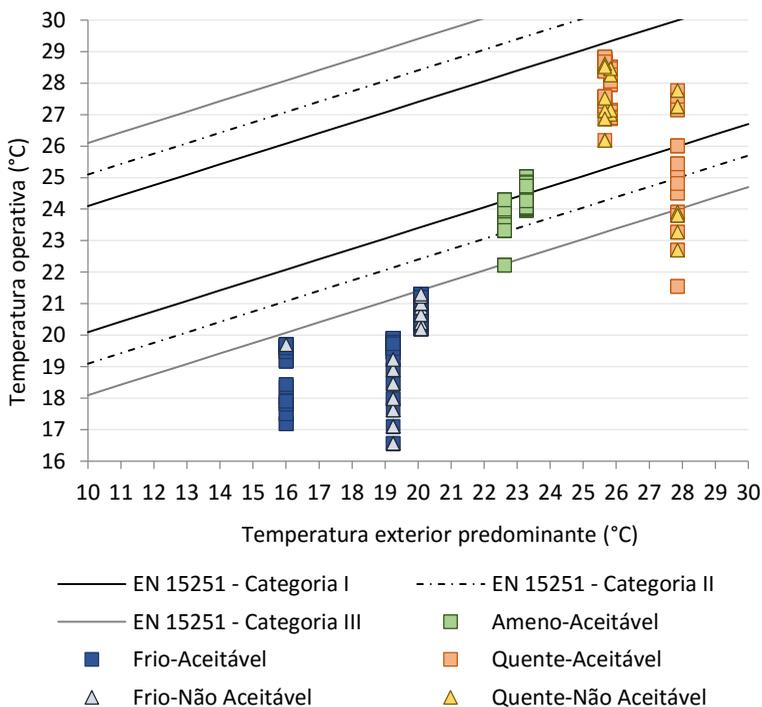


Figura 37 – Votos de aceitabilidade Térmica de toda população pesquisada em relação aos intervalos da norma EN 15251 (2007)



A distribuição dos votos de aceitabilidade térmica em relação à temperatura operativa nos oito levantamentos mostra 100% de aceitabilidade na faixa dos 24°C e 25°C. O menor índice de aceitabilidade ocorreu entre 16°C e 17°C de temperatura operativa, de 40%. Nota-se que não há um padrão nesses dados, visto que, se existisse uma correlação exata e direta da aceitabilidade térmica com a temperatura operativa, o comportamento do gráfico deveria ser de reduzir gradativamente a aceitabilidade ao ambiente térmico nas temperaturas inferiores a 24°C e superiores a 25°C. Esse cenário mostra a dificuldade em relacionar matematicamente as percepções humanas sobre o ambiente térmico e aponta para a necessidade de se investigar outras variáveis ambientais envolvidas e também outros parâmetros de percepção do ambiente térmico.

A distribuição percentual dos votos de aceitabilidade térmica por temperatura operativa pode ser observada no gráfico da Figura 38. A título de comparação, a Figura 39 simula o comportamento esperado para essa relação entre votos e temperaturas, a partir do conceito do modelo adaptativo. Esse gráfico foi construído fixando-se os valores de maior aceitabilidade (100% nas temperaturas de 24°C e 25°C) e os valores nas temperaturas extremas registradas (40% na temperatura de 16°C e 89% na temperatura de 20°C). Posteriormente, distribuiu-se o percentual de aceitabilidade igualmente entre essas temperaturas. Ambos os gráficos mostram a frequência de ocorrência dos votos de aceitabilidade térmica no eixo (y) e as temperaturas operativas registradas nos levantamentos em campo no eixo (x). Este comparativo reafirma a observação feita por De Dear et al. (1997), de que a informação (da forma que foi adquirida) sobre aceitabilidade não produz uma relação estatística significativa com as condições ambientais. Por outro lado, este comportamento pode ser observado a partir da disparidade de ocorrência dos votos absolutos em cada temperatura, como a baixa ocorrência de votos nas temperaturas de 22°C e 16°C, em detrimento de um número bem mais expressivo de votos na temperatura de 24°C.

Figura 38 - Distribuição dos votos de aceitabilidade térmica em relação à temperatura operativa

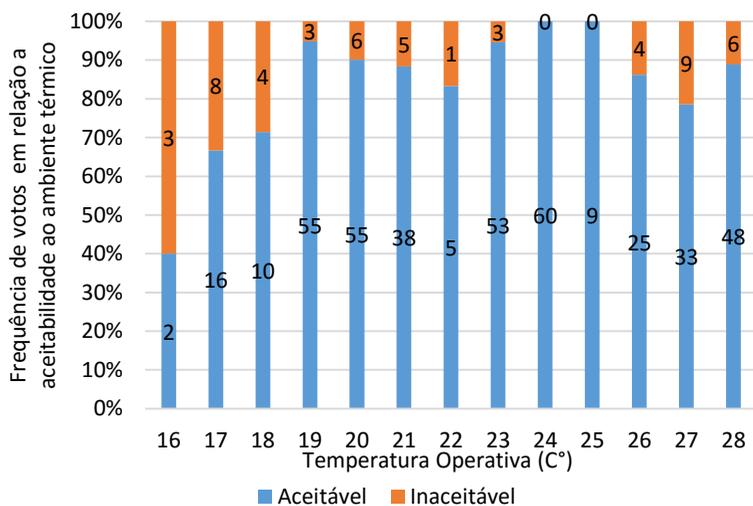
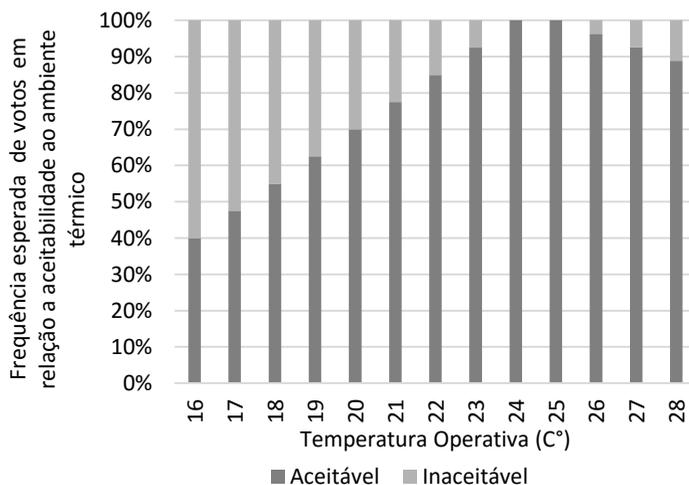


Figura 39 - Comportamento esperado da relação entre votos de aceitabilidade térmica e temperatura operativa



### 4.3.2 Sensação térmica

A escala sétima da ASHRAE apresenta as seguintes categorias de Votos de Sensação Térmica (VST): com muito calor (3), com calor (2), levemente com calor (1), neutro (0), levemente com frio (-1), com frio (-2) e com muito frio (-3). Conforme Humphreys e Hancock (2007) é um equívoco supor que as informações fornecidas pela representação da sensação térmica por meio da escala sétima da ASHRAE tenha sua interpretação tão evidente, ou que seu comportamento apresente-se invariável, já que pessoas em climas quentes podem preferir sentir-se mais frio a neutro, enquanto pessoas em climas frios preferem sentir-se mais aquecidos a neutro.

No presente trabalho, a análise dos votos de sensação térmica mostrou que 75,6% dos indivíduos pesquisados encontravam-se neutros (VST=0). O gráfico da Figura 40 mostra a distribuição dos votos de sensação térmica de toda a pesquisa para os períodos ameno, frio e quente. Os votos (absolutos) de sensação térmica estão representados no eixo das ordenadas (y) e as temperaturas operativas registradas no eixo das abscissas (x). Nota-se a tendência de ocorrer maior frequência de votos correspondentes à sensação “neutra” (VST = 0) a “frio” (VST = -2) no período frio e sensação térmica correspondente a “neutra” (VST = 0) a “calor” (VST = 2) no período quente. No período ameno, a sensação concentra-se entre os votos “levemente com calor” (VST = 1) e “levemente com frio” (VST = -1). A distribuição de frequência de ocorrência dos votos de sensação térmica por período da pesquisa (ameno, frio e quente) é observada no gráfico da Figura 41, que traz a escala sétima da ASHRAE utilizada para representar os votos de sensação térmica no eixo (x) e a frequência de ocorrência destes votos por período no eixo (y). Em ambos os gráficos, a máscara representa o intervalo de conforto entre a sensação térmica de “levemente com frio” (VST=-1) e “levemente com calor” (VST=1)

Figura 40 - Distribuição dos votos de sensação térmica seccionados por períodos da pesquisa: ameno, frio e quente

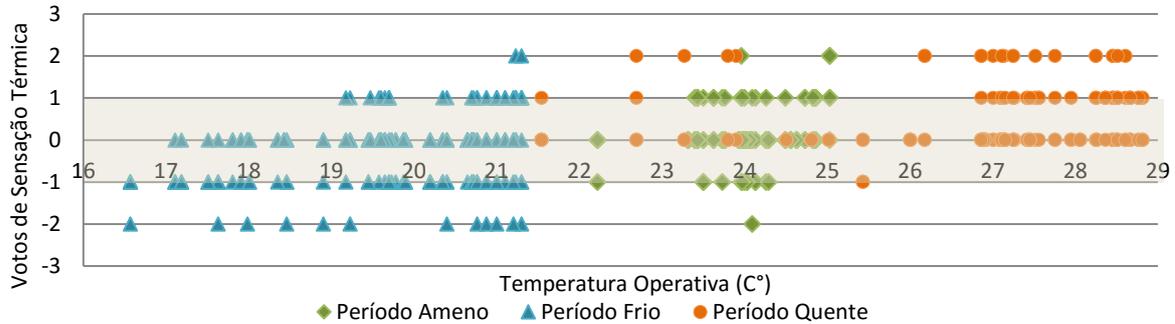
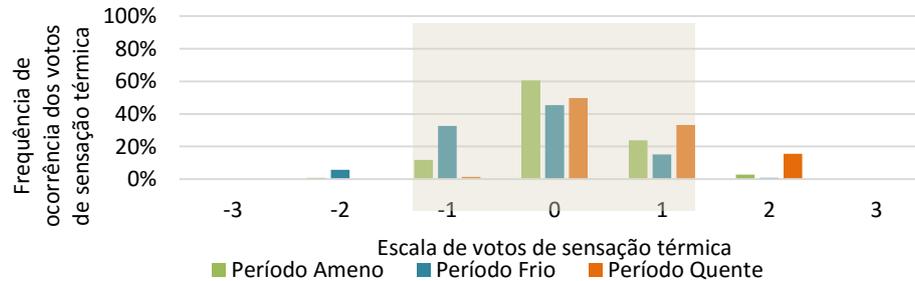


Figura 41 - Frequência de ocorrência dos votos de sensação térmica por período da pesquisa: ameno, frio e quente



A relação entre a frequência de ocorrência dos votos de sensação térmica e a temperatura operativa média correspondente mostra que condições praticamente idênticas de temperatura operativa podem ocasionar respostas de sensação térmica distintas, conforme mostram os gráficos da Figura 42 e da Figura 43. Estes gráficos apresentam no eixo (x) a indicação dos levantamentos em campo seccionados por período da pesquisa. No eixo (y) principal está a frequência de ocorrência dos votos de sensação térmica e no eixo (y) secundário tem-se acesso às temperaturas operativas médias de cada dia de medição. O gráfico da Figura 42 corresponde aos levantamentos em campo realizados nos períodos da manhã e o gráfico da Figura 43 corresponde aos levantamentos realizados à tarde.

Nota-se que os levantamentos indicados com os números 3 e 5, ambos no período frio da pesquisa, apresentaram temperaturas operativas médias praticamente iguais durante todo o dia. Nas investigações ocorridas no turno da manhã os votos de sensação térmica do experimento 3 mostram que aproximadamente 20% dos indivíduos acusaram a sensação térmica de frio (VST=-2) e 50% indicaram a sensação de estar levemente com frio (VST =-1), enquanto no experimento 5 não houve votos correspondentes a frio (VST=-2) e aproximadamente 70% dos indivíduos disseram estar “levemente com frio” (VST=-1). Comportamento muito semelhante ocorreu no período da tarde, quando mais de 30% dos indivíduos do experimento 3 relataram estar “levemente com frio” (VST=-1) e no experimento 5 este voto teve uma frequência de aproximadamente 5%. Durante o período ameno à tarde observa-se que o experimento 2 apresentou temperatura operativa média aproximadamente 1,5°C inferior a temperatura do experimento 1. Entretanto, os votos de sensação térmica do experimento 2 relatando sensação térmica de “levemente com calor” (VST=1) corresponderam a mais de 30% da ocorrência, enquanto no experimento 1 esta ocorrência foi inferior a 15%. Observa-se o mesmo comportamento no período quente da pesquisa onde a temperatura operativa média do experimento 7 foi 2°C superior ao experimento 8 quando os votos de sensação térmica correspondente a “com calor” (VST=2) foram mais representativos.

Figura 42 - Frequência de ocorrência dos votos de sensação térmica para os oito levantamentos em campo e temperatura operativa média de cada experimento, no turno da manhã

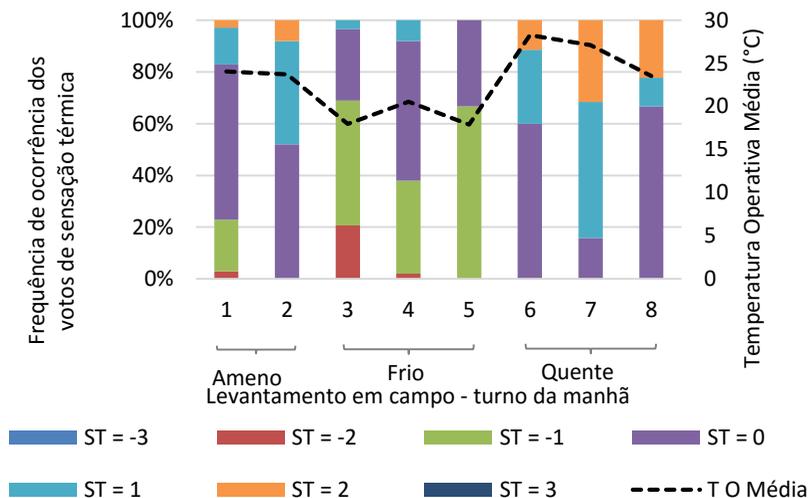
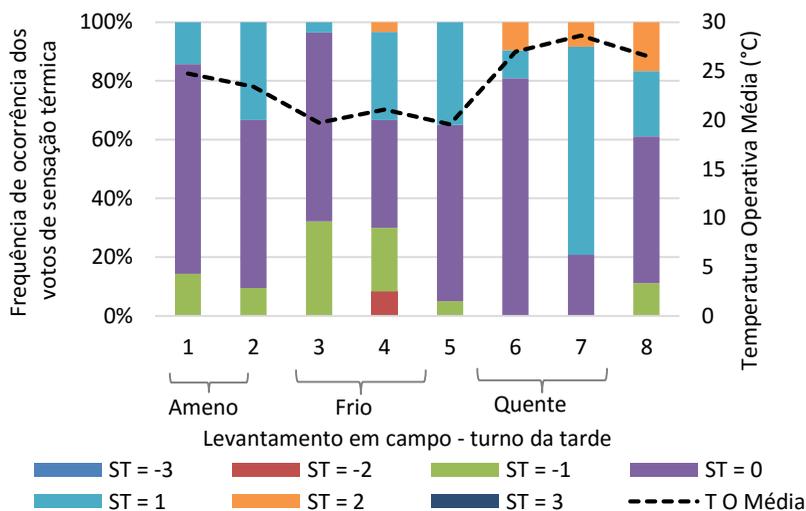


Figura 43 - Frequência de ocorrência dos votos de sensação térmica para os oito levantamentos em campo e temperatura operativa média de cada experimento, no turno da tarde



Visto que condições muito parecidas de temperatura operativa podem ocasionar respostas de sensação térmica distintas, reafirma-se a importância de explorar fatores conhecidos de conforto térmico (temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do ar, temperatura radiante média e isolamento da vestimenta) dentro da abordagem adaptativa, além do comportamento da edificação frente ao clima externo e das pessoas em relação à edificação. Pois se temperaturas operativas médias muito semelhantes acarretam em sensações térmicas distintas, outros fatores, pessoais ou ambientais como isolamento da vestimenta e umidade relativa do ar, devem estar influenciando na sensação térmica dos indivíduos.

### **4.3.3 Preferência térmica**

Pesquisas recentes mostram algumas tendências na preferência térmica dos indivíduos. Indraganti et al. (2013), em uma pesquisa no Japão durante o período de verão, constataram a tendência (caracterizada por natural pelos autores) das pessoas em desejar estarem mais resfriados em períodos quentes. Em 2014, Indraganti et al. (2014), em um levantamento de campo na Índia, mostraram que a preferência térmica por um ambiente mais frio é evidente em todo o ano pesquisado. Por outro lado, em uma pesquisa realizada em Florianópolis nos períodos quente do ano, De Vecchi (2011) constatou que 53% dos indivíduos pesquisados preferiam manter-se como estavam e 37% preferiam estar mais resfriados.

Nesta pesquisa, como foram realizados levantamentos em campo em três períodos climaticamente distintos, ameno, frio e calor, esperava-se que houvesse uma clara distinção na preferência dos indivíduos, pelo menos, nos dois períodos mais distintos (frio e quente) em desejar estar mais aquecido nas temperaturas mais baixas e desejar mais frio nas temperaturas mais altas. O gráfico da Figura 44 simula o comportamento esperado dos votos de preferência térmica em relação à temperatura operativa, construído a partir da distribuição, manual e gradual, dos votos de preferência térmica equivalente a “mais aquecido” para as temperaturas mais baixas e “mais resfriado” para as temperaturas mais altas. O gráfico da Figura 45 mostra a situação observada por meio dos votos de preferência térmica em relação à temperatura operativa.

Ambos os gráficos apresentam o voto de preferência térmica no eixo (y) e a temperatura operativa no eixo (x).

É importante ressaltar que a preferência térmica foi solicitada por meio da pergunta *“Como você gostaria de estar se sentindo neste momento”* e as opções fornecidas foram a escala sétima da ASHRAE, assim como o voto de sensação térmica. Os resultados apresentados e discutidos a partir dos gráficos da Figura 45 e da Figura 46 consistem no ajuste dos votos de preferência térmica na escala sétima para a representação da preferência térmica na escala de três pontos de McIntyre (*“assim mesmo”, “mais aquecido” e “mais resfriado”*) conforme detalhada no método.

Nota-se uma pequena tendência em indivíduos preferirem estar mais aquecidos em temperaturas mais frias e com mais frio em temperaturas mais altas. Entretanto, ao observar os votos absolutos, como no gráfico da Figura 45, constata-se que o comportamento desta relação entre temperatura operativa e preferência térmica não segue uma tendência uniforme, pois vê-se uma fração significativa de votos no período frio e uma temperatura operativa inferior a 21°C em que se deseja sentir mais frio. Da mesma forma, no período quente existem alguns indivíduos que prefeririam estar mais aquecidos. Mais uma vez, observa-se a dificuldade de representar matematicamente as percepções e preferências humanas em relação ao ambiente térmico.

Figura 44 - Comportamento esperado dos votos de preferência térmica

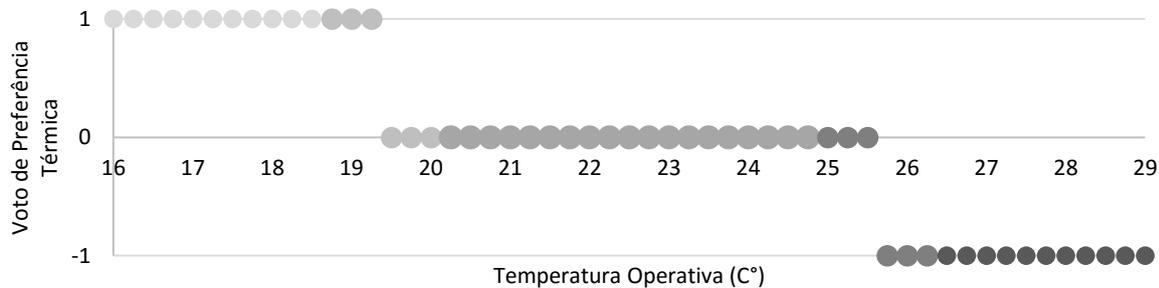


Figura 45 – Votos absolutos de preferência térmica de toda a pesquisa em relação a temperatura operativa

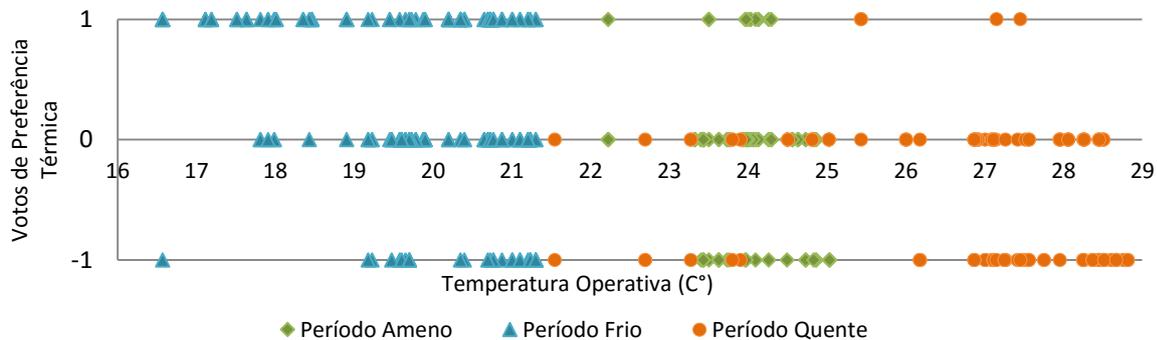
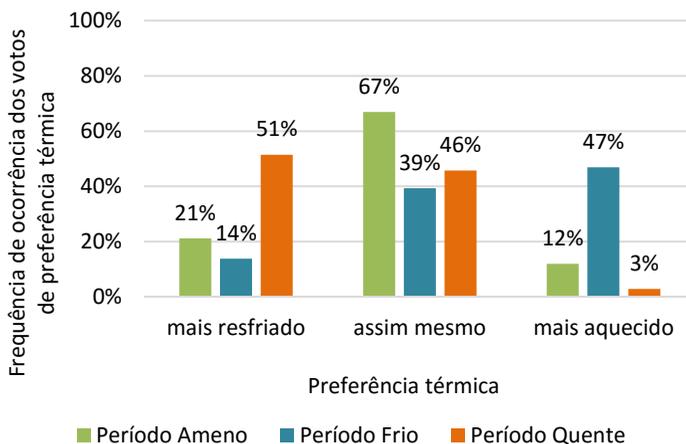


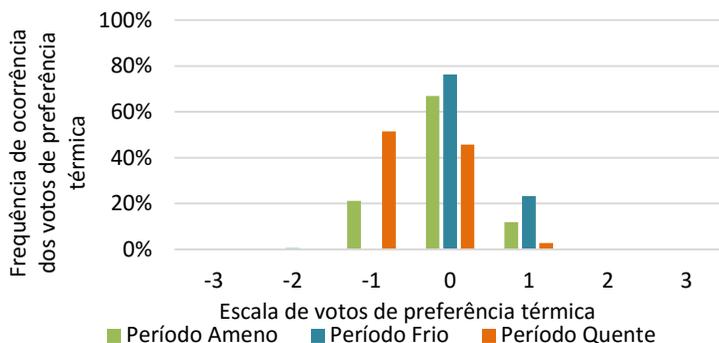
Figura 46 - Frequência de ocorrência dos votos de preferência térmica conforme escala de McIntyre por período da pesquisa: ameno, frio e quente



Diferentemente do encontrado por De Vecchi (2011) em pesquisas em sala de aula, a maior ocorrência de preferência térmica no período quente da pesquisa correspondeu a “mais resfriado”, 51% e a preferência por “permanecer assim mesmo” foi de 46%.

Ambos os votos de sensação e preferência térmica foram abordados por meio da escala sétima da ASHRAE a fim de explorar uma maior aproximação à sensação de conforto térmico dentro da presente pesquisa. Dessa forma, foi possível observar que o questionamento da preferência térmica por meio da escala sétima informa que para 76% da população pesquisada no período frio a sensação de neutralidade representa o estado de conforto térmico. No período quente, esta relação cai para 46% e durante o período ameno, a neutralidade representa o estado de conforto térmico para 67% dos pesquisados. O gráfico da Figura 47 mostra a distribuição dos votos de preferência térmica conforme a escala de sete pontos da ASHRAE no eixo (x) e a frequência de ocorrência dos votos de preferência térmica no eixo (y). Os dados estão seccionados por período da pesquisa.

Figura 47 - Frequência de ocorrência dos votos de preferência térmica conforme a escala sétima da ASHRAE por período da pesquisa: ameno, frio e quente



#### 4.4 ANÁLISE DE INFLUÊNCIA DE PARÂMENTROS PESSOAIS E AMBIENTAIS

Esta parte do trabalho busca explorar as relações entre o voto de sensação térmica, isolamento da vestimenta (fator pessoal) e parâmetros ambientais às quais os indivíduos pesquisados estão expostos. Análises de correlação foram realizadas separadamente para as variáveis internas (temperatura do ar, em °C; temperatura radiante média, em °C; umidade relativa; e velocidade do ar, em m/s) e externas (temperatura de bulbo seco, em °C; umidade relativa; e temperatura externa predominante calculada por meio da média exponencialmente ponderada com coeficiente de  $\alpha = 0,7$ , conforme explicitado no método), considerando a amostra total da pesquisa e cada período (ameno, frio e quente) individualmente. Os valores de coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para as variáveis internas de toda a amostra pesquisada estão na Tabela 8 e para as variáveis externas estão na Tabela 9. Os gráficos de dispersão que originaram estes dados podem ser consultados nas tabelas do Apêndice B. A Tabela 10 resume os coeficientes de determinação dos votos de sensação térmica médios em função dos parâmetros analisados para a amostra total pesquisada e para os períodos da pesquisa (ameno, frio e quente).



Tabela 10 - Valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre as variáveis independentes (parâmetros ambientais e isolamento da vestimenta e o voto de sensação térmica (como variável dependente)

	T.ar (°C)	TBS ext. (°C)	$T_r$ (°C)	Temp. externa pred. (°C)	$I_{cl}$ (clo)	UR ext. (%)	UR int. (%)	V.ar (m/s)
Amostra Total	0,552	0,430	0,444	0,340	0,334	0,280	0,20 9	0,127
Período Ameno	0,156	0,030	0,147	0,019	0,080	0,018	0,02 0	0,031
Período Frio	0,444	0,177	0,433	0,019	0,066	0,008	0,02 3	0,004
Período Quente	0,163	0,101	0,029	0,061	0,064	0,106	0,03 4	0,078

Conforme esperado, a sensação térmica média (obtida a partir dos votos de sensação térmica informados pelos indivíduos pesquisados) mostrou maior relação com a temperatura do ar, primeiramente a interna, seguida pela externa. A temperatura radiante média mostra um coeficiente de determinação muito próximo ao da temperatura do ar nos períodos ameno e frio. Pelo contrário, no período quente esses valores se distanciam. Uma possível explicação para a temperatura radiante média não ter o mesmo comportamento no período quente é que durante todo o estudo a temperatura de globo medida foi muito próxima à do ar, variando em média  $0,4^{\circ}\text{C}$  para mais ou para menos. Em um dos estudos do período quente, no início do dia, houve registros de temperatura de globo com valores muito inferiores a temperatura do ar, podendo acusar algum erro na medição ou até a possibilidade de o aparelho de condicionamento de ar ter sido ligado antes do início do levantamento.

Nota-se uma dependência inferior da sensação térmica em relação ao isolamento da vestimenta ( $R^2=0,3339$ ), tratando do estudo

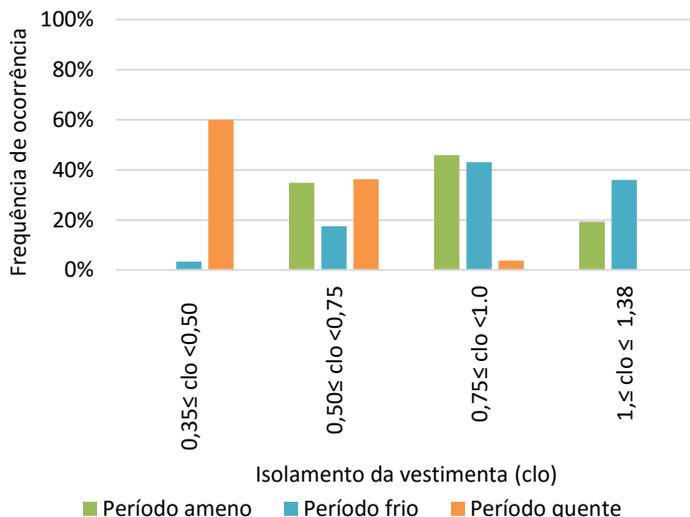
como um todo. No entanto, percebe-se a forte relação entre o isolamento da vestimenta e a temperatura do ar ( $R^2= 0,7854$ ) e à temperatura externa predominante ( $R^2=0,9106$ ). A influência do isolamento da vestimenta na sensação térmica será discutida no próximo tópico.

A umidade relativa interna e a velocidade do ar apresentaram os menores coeficientes de determinação em relação à sensação térmica. Estas variáveis serão abordadas com foco no período quente da pesquisa nos itens 4.4.2 e 4.4.3, páginas 139 e 142.

#### **4.4.1 Vestimenta**

Os níveis de isolamento da vestimenta dos pesquisados extrapolaram os limites reconhecidos pela ASHRAE Standard 55 (2013) para aplicabilidade do modelo adaptativo (entre 0,50 *clo* e 1,00 *clo*), variando de 0,35 *clo* a 1,38 *clo* em toda a amostra pesquisada. No período frio, os valores médio, mínimo e máximo de vestimenta foram 0,90 *clo*, 0,48 *clo* e 1,38 *clo*, respectivamente. Já no período quente os valores correspondentes foram 0,45 *clo*, 0,35 *clo* e 0,75 *clo*. É importante lembrar que esses valores são compostos pela roupa informada pelo entrevistado, acrescido de 0,10 *clo* equivalente a uma cadeira padrão de escritório e considerando que todas as pessoas usavam roupas íntimas (o que não foi solicitado no questionário). As alterações nas vestimentas de cada indivíduo foram registradas nos questionários e aplicadas à tabulação dos dados sempre que houve mudanças. A frequência de ocorrência dos níveis de isolamento da vestimenta usados pelos indivíduos pesquisados, classificados por período da pesquisa, está no gráfico da Figura 48, que traz a frequência de ocorrência no eixo (y) e os intervalos de isolamento da vestimenta classificados por período no eixo (x).

Figura 48 - Isolamento da vestimenta por período da pesquisa: ameno, frio e quente

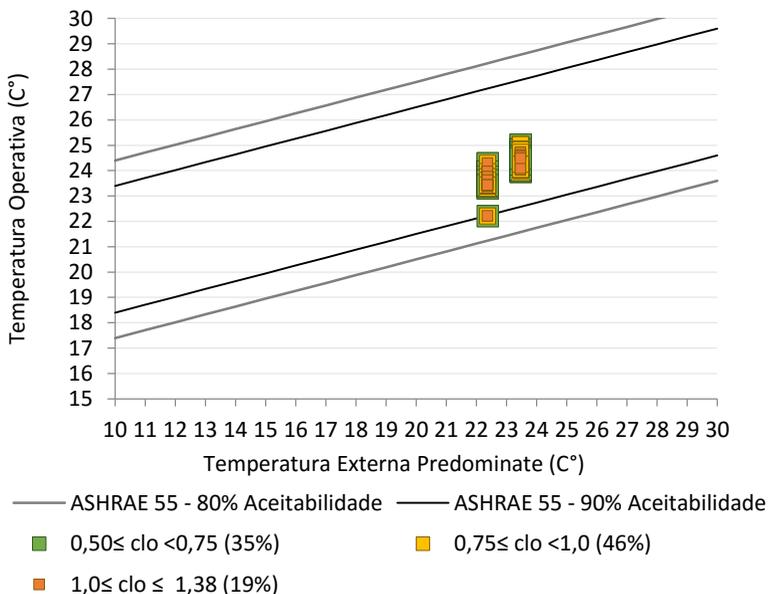


As informações sobre o nível de isolamento da vestimenta de cada indivíduo pesquisado foram relacionadas aos votos de aceitabilidade ao ambiente térmico e de sensação térmica para cada período da pesquisa.

Para o período ameno, quando houve 100% de aceitabilidade ao ambiente térmico, 46% dos pesquisados vestiam roupas equivalentes ao intervalo de 0,75 *clo* e 1,0 *clo*, sendo que destes indivíduos, 50% indicaram estar neutros no voto de sensação térmica. Outros 19% apresentaram valores de isolamento da vestimenta maiores que 1,00 *clo*. Neste período, nenhum indivíduo apresentava isolamento inferior a 0,50 *clo*. O gráfico da Figura 49 traz os votos de aceitabilidade no período ameno da pesquisa, classificados pelos intervalos de níveis de isolamento da vestimenta. Nota-se que na faixa de temperaturas externas predominantes mais baixas há o predomínio de índices de isolamento da vestimenta mais elevado, conforme já mostrou o gráfico de frequência de ocorrência da Figura 48. O gráfico apresenta no eixo (y) as temperaturas registradas, e no eixo (x) as temperaturas externas predominantes para cada dia de estudo, calculadas a partir da média exponencialmente ponderada, conforme detalhado no método. Os

intervalos de aceitabilidade determinados pela ASHRAE Standard 55 (2013) estão demarcados no gráfico.

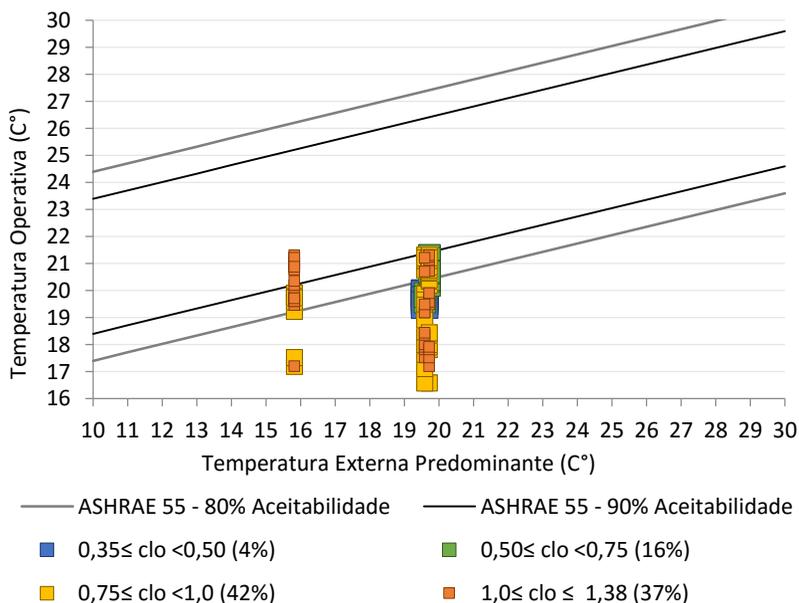
Figura 49 – Votos de aceitabilidade ao ambiente térmico classificados por isolamento da vestimenta no período ameno da pesquisa



No período frio da pesquisa observa-se uma grande parcela dos indivíduos que considera o ambiente termicamente aceitável, mesmo que o ambiente não atenda aos intervalos de aceitabilidade estabelecidos pela ASHRAE Standard 55 (2013). Neste período da pesquisa, aproximadamente 45% dos indivíduos pesquisados estão nesta situação. O alto índice de isolamento da vestimenta pode justificar isso, já que 42% de todas as pessoas que consideraram o ambiente termicamente aceitável apresentaram índice de isolamento da vestimenta entre 0,75 *clo* e 1,00 *clo*, e outros 37% vestiam-se com isolamento equivalente a mais de 1,00 *clo*. Por outro lado, os indivíduos que consideraram o ambiente térmico inaceitável nesse período da pesquisa, mesmo que esta parcela seja pequena (aproximadamente 15%), também apresentavam altos índices de isolamento da vestimenta, sendo que 48% deles estavam dentro do intervalo de 0,75 *clo* e 1,00 *clo*,

e 37% vestiam-se com roupas equivalentes a mais de 1,00 clo. Há uma pequena percentagem de votos (4%) com índice de vestimenta inferior a 0,5 clo, todos esses votos corresponderam a um rapaz de 26 anos. Os gráficos da Figura 50 e Figura 51 mostram os votos de aceitabilidade e não aceitabilidade ao ambiente térmico para o período frio, seccionados pelos níveis de isolamento da vestimenta, respectivamente. Os gráficos apresentam no eixo (x) a temperatura média externa predominante e no eixo (y) as temperaturas operativas medidas. Os votos estão classificados por faixa de isolamento da vestimenta. Os intervalos de aceitabilidade determinados pela ASHRAE Standard 55 (2013) estão demarcados no gráfico.

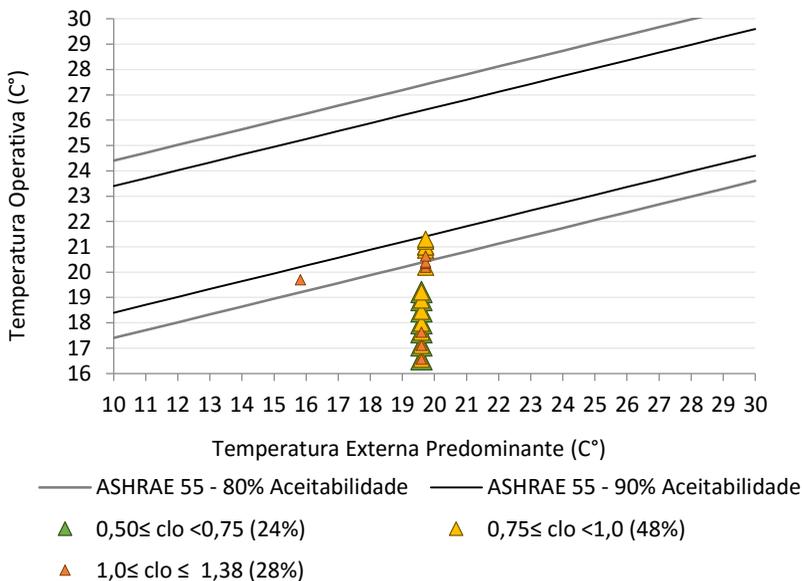
Figura 50 – Votos de aceitabilidade ao ambiente térmico no período frio da pesquisa classificados por isolamento da vestimenta



Como resposta a esses elevados índices de aceitabilidade abaixo dos intervalos estipulados pela norma, comportamento característico de contextos climáticos como o de Florianópolis com grandes amplitudes sazonais, De Vecchi et. al (2014) propõem uma zona de ajuste da vestimenta para ampliar o intervalo de aceitabilidade, baseado no

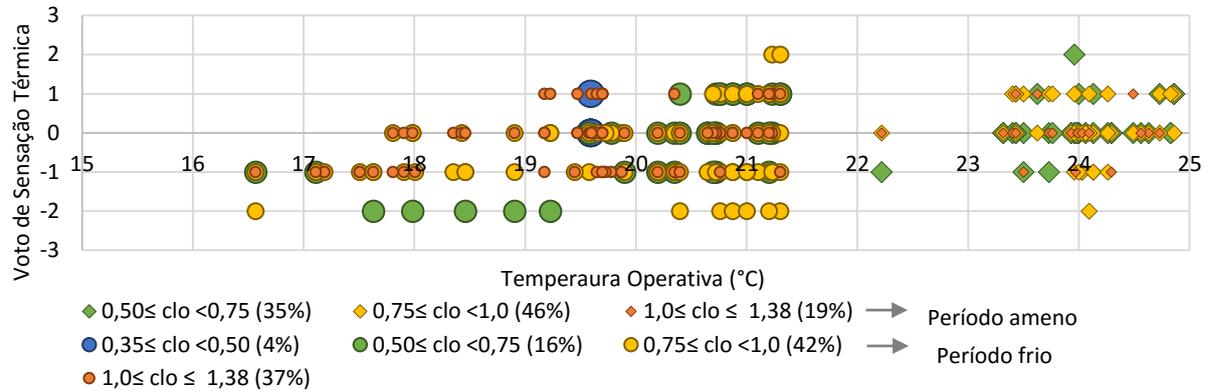
método gráfico do PMV. Esta zona de ajuste atua no limite de temperatura operativa de 19,5 °C.

Figura 51 – Votos de não aceitabilidade ao ambiente térmico no período frio da pesquisa classificados por isolamento da vestimenta



O gráfico da Figura 52 mostra a relação entre o voto de sensação térmica e o isolamento da vestimenta das investigações ocorridas nos períodos ameno e frio. Observa-se uma forte ocorrência de isolamento da vestimenta superior a 0,75 *clo* nos votos de sensação térmica neutra, ou seja, os votos neutros e com indivíduos que se vestiam com mais de 0,75 *clo* representam 37% dos votos da amostra dos períodos ameno e frio. O gráfico traz os votos de sensação térmica no eixo (y) seccionados por nível de isolamento da vestimenta de cada indivíduo, e no eixo (x), estão as temperaturas operativas. Existem duas séries de dados: os correspondentes ao período ameno, na faixa de temperatura operativa entre 22°C e 25°C, e os correspondentes ao período frio, entre as temperaturas operativas de 16°C e 22°C.

Figura 52 - Votos de sensação térmica classificados por nível de isolamento da vestimenta nos períodos ameno e frio da pesquisa



Conforme visto nos gráficos da Figura 49 e da Figura 50, a influência da temperatura predominante externa sobre o índice de isolamento da vestimenta é bastante significativo. A regressão linear entre estes dois fatores, realizada na análise de influência de parâmetros pessoais e ambientais, mostrou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9106. Esperava-se que a informação adquirida com a pergunta “*Você costuma consultar a previsão do tempo antes de ir ao trabalho, ou na noite anterior?*” pudesse estabelecer relações sobre sua influência nas decisões dos indivíduos acerca de sua vestimenta, supondo que esta informação auxiliaria as pessoas a vestirem-se adequadamente ao clima. Entretanto, o percentual de indivíduos que consultam a previsão do tempo é muito próximo dos que não consultam, respectivamente, 52,9% e 47,1%, dificultando a análise por meio desse parâmetro. A partir dessas duas informações sobre o clima externo e sua relação temporal (passado e futuro), é possível inferir que a memória dos indivíduos em relação ao clima dos dias passados é possivelmente mais influente nas decisões sobre a vestimenta do que suas expectativas. O que mostra uma sobreposição dos fatores que interferem nas sensações humanas, e a complexidade em tratar de forma isolada a interferência dos parâmetros pessoais e ambientais na sensação térmica dos indivíduos.

#### **4.4.2 Umidade relativa do ar**

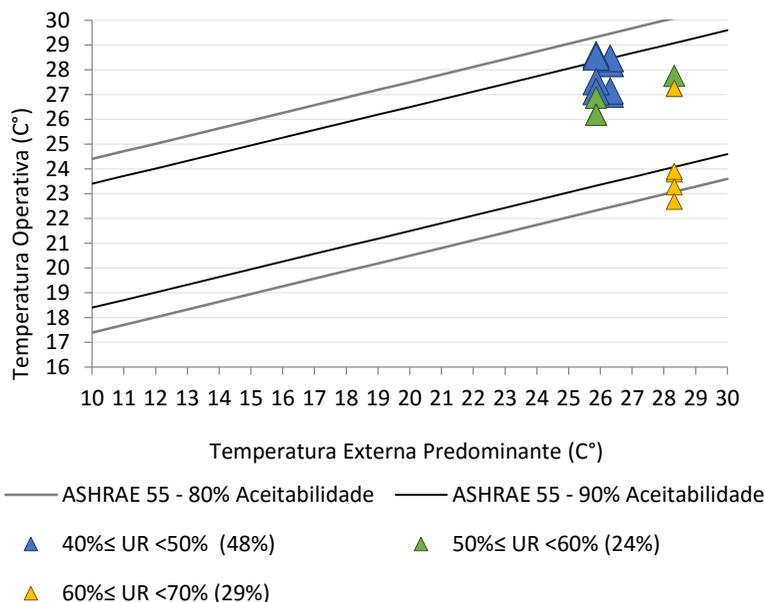
A umidade relativa do ar externo média registrada em todo o período de estudo foi de 64%. Para o período frio as umidades relativas externas média, mínima e máxima registradas pelo sensor externo foram 70%, 56% e 83%. Para o período quente, as umidades relativas correspondentes foram 56%, 48% e 68%. Esses valores são distintos dos dados históricos conhecidos que registram a umidade relativa do ar média em Florianópolis de 80%. A umidade relativa média interna dos dias pesquisados foi de 60%, e as umidades relativas médias internas para os períodos ameno, frio e quente foram de 59%, 64% e 51%, respectivamente.

Mesmo que a análise de influência da umidade relativa sobre a sensação térmica tenha mostrado um baixo coeficiente de determinação ( $R^2=0,2091$ ), considera-se importante a avaliação dos votos absolutos de aceitabilidade e de sensação térmica a partir dessa variável, a fim de identificar algum padrão no comportamento da

umidade relativa, variável bastante significativa do clima florianopolitano.

A não aceitabilidade em relação ao ambiente térmico entre indivíduos no período quente (16% dos votos obtidos no período quente da pesquisa) classificada por intervalo de umidade relativa permite inferir que ora a insatisfação é mais influenciada por altas temperaturas, ora por altos índices de umidade relativa. O gráfico da Figura 53 mostra os votos de não aceitabilidade ao ambiente térmico classificados por intervalos de umidade relativa interna. Dentre esses, dois grupos predominantes podem ser identificados por meio dessa diferença: Os votos destacados em amarelo estavam sob condições de temperaturas operativas inferiores a 24°C e umidades relativas entre 60% e 70%; E o grupo de votos destacados em azul estava sob condições de temperaturas operativas superiores a 27°C e taxas de umidade relativa entre 40% e 50%. Nota-se que a não aceitabilidade ao ambiente térmico para os votos destacados em amarelo pode ser em decorrência da umidade relativa do ar interno e dos votos em azul, em decorrência das altas temperaturas. Esse gráfico traz no eixo (y) as temperaturas operativas medidas, e no eixo (x) a temperatura externa predominante. O gráfico destaca também as linhas limites de aceitabilidade para a ASHRAE Standard 55 (2013).

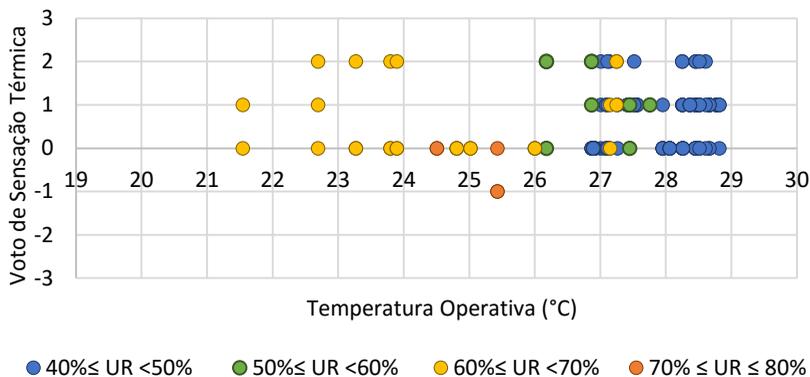
Figura 53 – Votos de não aceitabilidade ao ambiente térmico classificados por intervalos de umidade relativa interna no período quente da pesquisa



Os votos de sensação térmica da população pesquisada no período de calor também mostram esta dualidade entre a participação da temperatura do ar e da umidade relativa do ar na sensação de calor dos indivíduos. Observa-se que na faixa de temperatura operativa entre 23°C e 24°C e umidade relativa interna acima de 60% tem-se votos de sensação térmica equivalente a “com calor” (VST=2). Acima dos 27°C têm-se novamente votos de sensação térmica equivalentes a 2, mas com umidade relativa entre 40% e 50%, ou seja, a sensação térmica provavelmente é mais influenciada pela umidade relativa no primeiro caso, e pela temperatura operativa, no segundo. É importante destacar que sabendo-se da dependência física entre as variáveis umidade relativa e temperatura do ar traça-se este paralelo entre a sensação térmica e temperatura operativa na leitura de influência da umidade relativa do ar na sensação térmica, por ela ser o principal índice de análise de conforto térmico em uso na abordagem adaptativa tratada nas normas ASHRAE Standard 55 (2013) e EN 15251 (2007). O gráfico da

Figura 54 traz os votos de sensação térmica classificados por faixa de umidade no eixo (y) e as temperaturas operativas no eixo (x), com os votos de sensação térmica classificados por intervalos de umidade relativa.

Figura 54 - Votos de sensação térmica do período quente da pesquisa, classificados por faixa de umidade



#### 4.4.3 Velocidade do ar

Movimento do ar é um dos parâmetros ambientais mais difíceis de se medir com precisão, já que apresenta alta variabilidade e manifesta-se em diferentes direções (DJAMILA; CHU; KUMARESAN, 2013). Além disso, a dificuldade em realizar medições individuais para cada período pesquisado simultaneamente ao preenchimento do questionário amplia a margem de imprecisão de uma análise quantitativa a respeito desta variável.

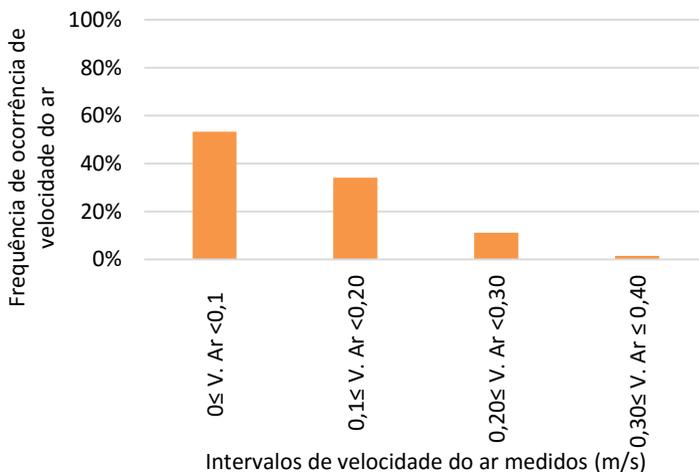
As velocidades do ar registradas nos levantamentos em campo realizados no período quente foram extremamente baixas, com velocidade média de 0,09 m/s e registro máximo de 0,30 m/s. A insatisfação dos pesquisados em relação à baixa movimentação de ar é evidente neste período da pesquisa, já que 70% dos votos representavam o desejo por maior velocidade do ar. Os ambientes apresentaram alguns picos de velocidade acima de 0,30 m/s, entre intervalos de votos que ocorreram no período da tarde, chegando a 0,80

m/s em curtos e esporádicos momentos. De uma forma geral, a velocidade do ar aumentava no decorrer do dia.

Observou-se que a partir de uma velocidade de 0,30 m/s papéis fixados na parede movem-se, e acima de 0,45 m/s o vento provoca a movimentação de persianas e por volta da velocidade de 0,60 m/s os papéis sobre as mesas voam. Essas observações foram realizadas em campo por meio de medições de velocidade do ar realizadas mesmo quando não eram solicitados os votos de percepção térmica.

O gráfico de barras da Figura 55 traz a frequência de ocorrência de intervalos de velocidade do ar, definidos a partir das velocidades registradas nas investigações (nos momentos em que os indivíduos forneciam os votos de percepção térmica) do período quente, aproximadamente durante cada voto de sensação e preferência térmica informada pelo indivíduo pesquisado no questionário.

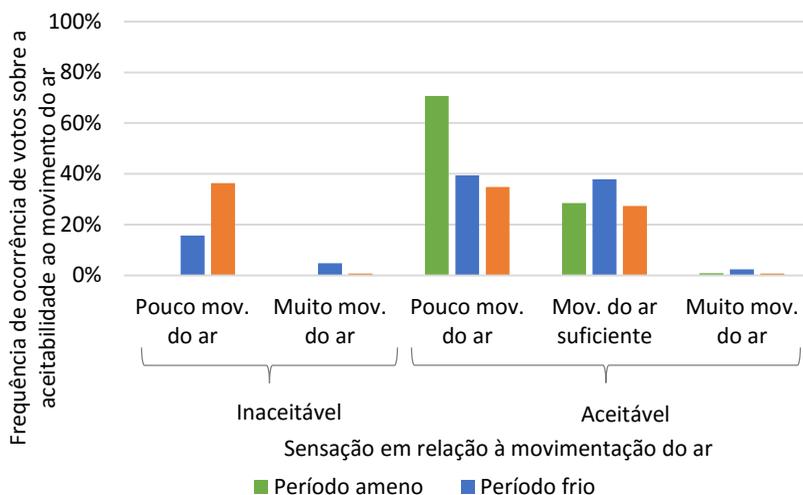
Figura 55 - Frequência de ocorrência de velocidade do ar no período quente da pesquisa



Nos períodos ameno e frio não foram realizadas medições individuais de velocidade do ar. Entretanto, as questões “*Como você se sente em relação ao movimento do ar?*” e “*Qual sua preferência em relação ao movimento do ar?*” foram feitas. As respostas mostraram que 52% e 70% dos indivíduos não desejavam alteração na velocidade do ar, para o período ameno e frio, respectivamente. A sensação em relação ao movimento do ar para os três períodos da pesquisa é trazida no

gráfico da Figura 56, onde se observa que os contextos aos quais os indivíduos estavam expostos eram em sua grande maioria aceitáveis, mas divididos entre movimento do ar suficiente e pouco movimento do ar. O gráfico traz a frequência de ocorrência das sensações sobre movimentação do ar no eixo (y) e as sensações classificadas por aceitável e inaceitável no eixo (x).

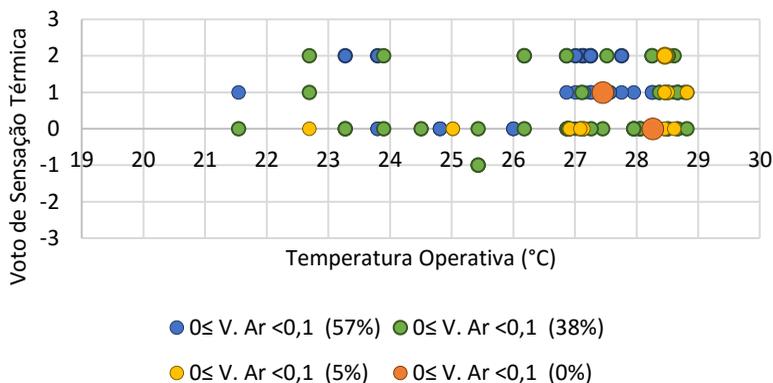
Figura 56 - Sensação em relação à movimentação do ar para os períodos ameno, frio e quente da pesquisa



Mesmo que seja um parâmetro de alta variabilidade, e que a análise por meio de regressão linear sobre a influência da velocidade do ar na sensação térmica tenha mostrado um baixo coeficiente de determinação, é possível realizar algumas análises e observações sobre a interferência da velocidade do ar na sensação térmica dos indivíduos. Os votos de sensação térmica fora do eixo entre -1 e 1 no período quente da pesquisa, em sua grande maioria, ocorreram sob velocidades inferiores a 20 m/s. Dentre os votos de sensação térmica equivalente a “com calor” ( $VST = 2$ ), 57% eram referentes a velocidade do ar inferior a 0,1 m/s e 38% ocorreram com velocidades entre 0,1 m/s e 0,2 m/s. O gráfico da Figura 57 traz no eixo (y) os votos de sensação térmica acusados pelos indivíduos nas investigações em campo do período

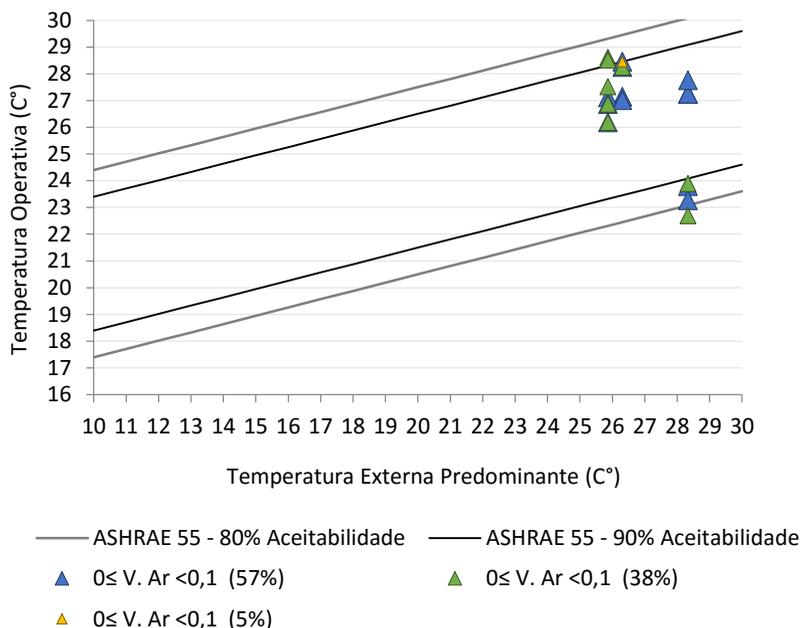
quente, e no eixo (x) as temperaturas operativas medidas em campo. Os votos de sensação térmica estão classificados por intervalos de velocidade do ar definidos a partir das velocidades monitoradas em campo com o termoanemômetro portátil.

Figura 57 – Votos de sensação térmica classificados por intervalos de velocidade do ar no período quente da pesquisa



A análise sobre a aceitabilidade ao ambiente térmico das investigações do período quente em função da velocidade do ar permite observar que as movimentações do ar proporcionadas pelas edificações em questão não são suficientes para auxiliar nas trocas de calor do indivíduo com o ambiente. Como consequência, a sensação de calor pode ser esta sensação de calor causada por conta de altas temperaturas ou por conta de índices de umidade relativa do ar mais elevados. Isso mostra a dificuldade em se ampliar as faixas de temperatura operativa aceitável a partir de velocidade do ar acima de 0,3 m/s, como sugere a ASHRAE Standard 55 (2013) sem o auxílio de equipamentos auxiliares, como ventiladores, tratando-se apenas do que as edificações podem proporcionar. A relação entre não aceitabilidade ao ambiente térmico para o período quente da pesquisa e as velocidades do ar ocorridas está ilustrada no gráfico da Figura 58 e está em função das temperaturas operativas, eixo (y), e temperaturas externas predominantes, eixo (x), com a marcação dos intervalos de conforto determinados pela ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2013).

Figura 58 – Votos de não aceitabilidade ao ambiente térmico classificados por intervalos de velocidade do ar no período quente da pesquisa



#### 4.5 TEMPERATURA NEUTRA DA AMOSTRA PESQUISADA

Sabendo-se que neutralidade térmica refere-se a um valor específico de temperatura interna, representada nesse trabalho pela temperatura operativa, correspondente aos votos médios de sensação térmica equivalente a neutro ( $VST=0$ ) e que a neutralidade é obtida igualando a equação de regressão linear a zero ( $y=0$ ) (DE DEAR et al. 1997). Neste trabalho foi realizada a regressão linear entre os votos de sensação térmica médios e as temperaturas operativas registradas. Igualando-se a equação linear encontrada a zero, definiu-se a temperatura neutra, e igualando-se a equação a 1 e -1 definiu-se o intervalo de conforto. O intervalo de conforto foi determinado a partir da relação entre sensação térmica e percentual de insatisfeitos conforme ilustra a curva de relação entre PMV e PPD, que assume que a insatisfação está associada com votos de sensação térmica  $\pm 2$  e  $\pm 3$  na escala sétima da ASHRAE (DE DEAR et al. 1997). O coeficiente de

determinação encontrado,  $R^2 = 0,509$ , é equivalente ao apresentado em outros estudos recentes como Dhaka et al. (2014),  $R^2 = 0,506$ . O gráfico da Figura 59 mostra a distribuição dos votos de sensação térmica médios em relação à temperatura operativa para todo o estudo. A linha de neutralidade da amostra pesquisada está em destaque e o intervalo de conforto é marcado pelas linhas vermelha e azul. A Tabela 11 fornece um resumo das informações relacionadas à temperatura neutra da amostra pesquisada para todo o período da pesquisa.

Figura 59 - Distribuição geral dos votos de sensação térmica médios em relação a temperatura operativa para todo o estudo, linha de temperatura neutra e intervalos de conforto térmico

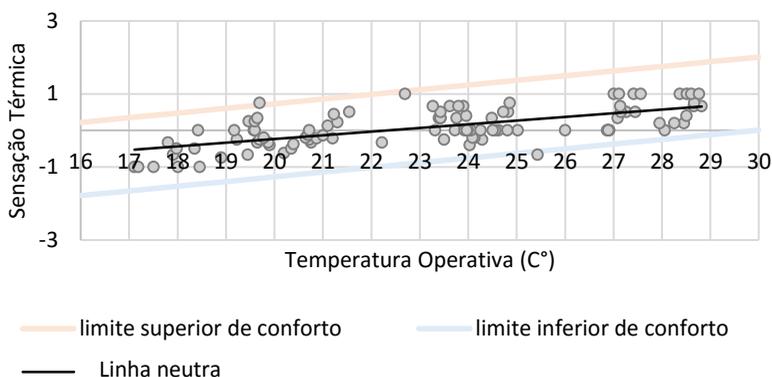


Tabela 11 - Temperatura Neutra em relação a temperatura operativa e suas atribuições para toda a população pesquisada

Temperatura Neutra	22,12°C
Equação da temp. neutra	$0,1278 * TO - 2,8268$
Coeficiente $R^2$	0,509

#### 4.5.1 Efeito do período da pesquisa (estação) na temperatura neutra

Conforme visto, cada período da pesquisa apresentou intervalos de temperatura externa e interna dentro de uma determinada faixa de

ocorrência, ou seja, os três períodos da pesquisa apresentam características climáticas bem marcadas.

A relação entre temperatura externa e temperatura interna do ar também mostrou forte relação na análise inicial feita por regressão linear conforme esperado em edificações naturalmente ventiladas, resultando em um coeficiente de determinação de  $R^2 = 0,7206$ . Assim como a relação entre a temperatura do ar interno e a temperatura externa predominante, com  $R^2 = 0,8087$ , o que mostra que a temperatura exponencialmente ponderada (representação da temperatura externa predominante) representou bem os dias de estudos. A sazonalidade mencionada representa amplitudes superiores a  $10^{\circ}\text{C}$  nas temperaturas internas dos ambientes pesquisados e a análise de influência entre os parâmetros ambientais reinteram a importância do clima externo na determinação das condições internas de conforto. Dessa forma, mostra-se importante a visualização das temperaturas neutras por período da pesquisa, ainda que em função da temperatura operativa e não da externa já que os ambientes apresentaram temperaturas internas bem distintas em cada período. Os gráficos apresentados na Figura 60, na Figura 61 e na Figura 62 trazem a dispersão informando a linha de temperatura neutra para cada período da pesquisa, ameno, frio e quente. No eixo (y) tem-se os votos de sensação térmica e no eixo (x) as temperaturas operativas medidas em campo.

Figura 60 - Distribuição dos votos de sensação térmica médios do período ameno da pesquisa em relação à temperatura operativa e linha de temperatura neutra

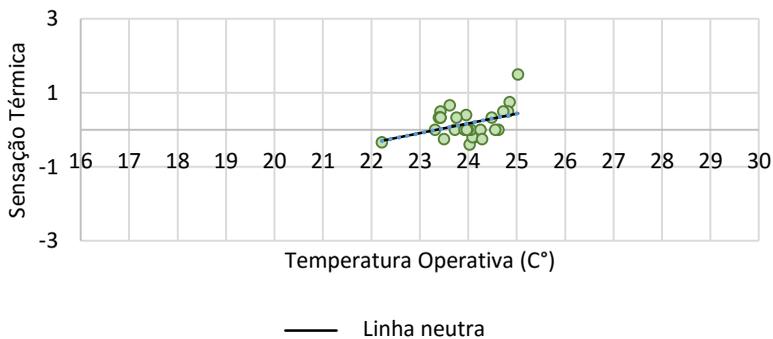


Figura 61 - Distribuição dos votos de sensação térmica médios do período frio da pesquisa em relação à temperatura operativa e linha de temperatura neutra

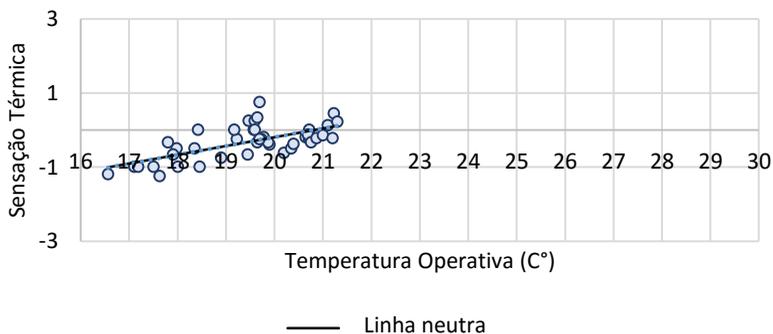
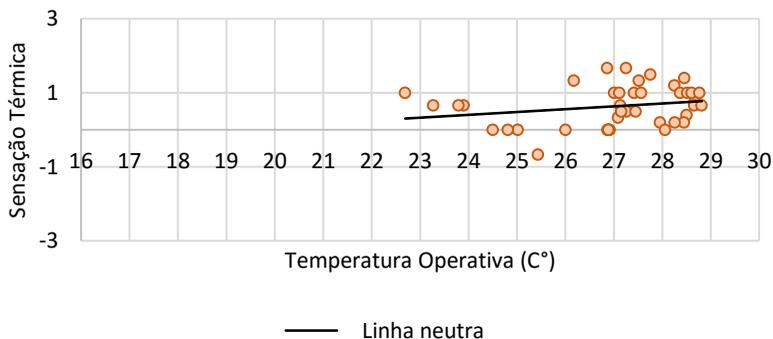
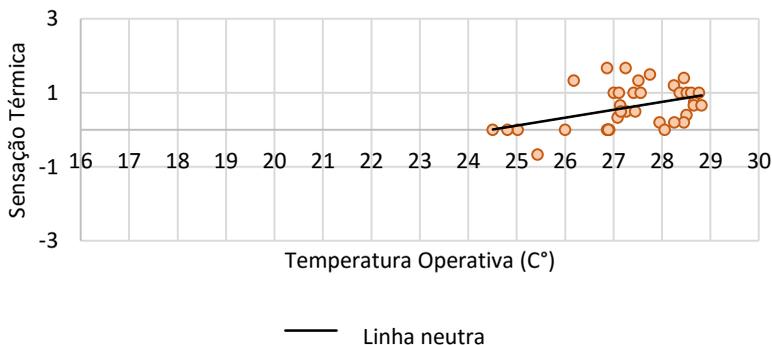


Figura 62 - Distribuição dos votos de sensação térmica médios do período quente da pesquisa em relação à temperatura operativa e linha de temperatura neutra



As temperaturas neutras encontradas para cada período da pesquisa com base nas temperaturas operativas foram 23,3°C, 20,8°C e 18,7°C, para os períodos de clima ameno, frio e quente, respectivamente. Visto que a temperatura neutra do período quente é mais baixa do que o esperado, retoma-se a observação feita na análise inicial sobre a influência dos parâmetros ambientais na sensação térmica do indivíduo. Foi observado que em um dos estudos do período quente, no início do dia, houveram registros de temperatura de globo com valores muito inferiores a temperatura do ar, podendo acusar algum erro na medição ao até a possibilidade de o ar condicionado ter sido ligado antes do início do experimento, o que acarretou em valores de temperatura radiante média inferiores a temperatura do ar. Por conta disso, um procedimento para identificar votos espúrios foi realizado por meio do cálculo do resíduo padronizado para 5% de significância, e assim apenas um valor de temperatura operativa foi considerado espúrio. Caso pudesse ser afirmado que houve um erro operacional e estes dados (cinco valores de temperatura de globo muito inferiores à temperatura do ar) fossem excluídos o cenário da temperatura neutra para o período de verão seria o observado no gráfico da Figura 63 e a temperatura neutra para o período quente seria de 24,5°C.

Figura 63 - Distribuição dos votos de sensação térmica médios do período quente da pesquisa, excluindo cinco valores observados como inconsistentes, em relação à temperatura operativa e linha de temperatura neutra



A Tabela 12 reúne as correlações estatísticas entre sensação térmica e temperatura operativa para todo o estudo e para os períodos da pesquisa, que são temperatura neutra, intervalo de conforto, equação da temperatura neutra e coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 12 - Temperatura neutra em relação a temperatura operativa e suas atribuições por período da pesquisa

	Estudo geral	Período Ameno	Período Frio	Período Quente	Período Quente*
Temp. Neutra	22,1°C	23,3°C	20,8°C	18,7°C	24,5°C
Equação da temp. neutra	$0,1278x - 2,8268$	$0,2659x - 6,2046$	$0,2376x - 4,9439$	$0,0785x - 1,425$	$0,215x - 5,2613$
Coefficiente $R^2$	0,508	0,1564	0,4427	0,05	0,1798

\* Valores encontrados a partir da exclusão dos votos observados como inconsistentes.

#### 4.5.2 Temperatura neutra e temperatura externa

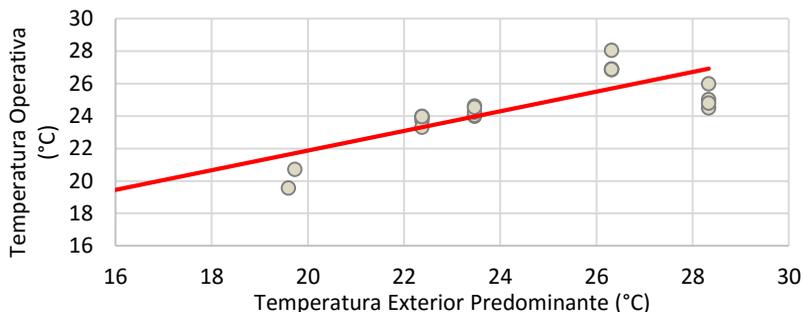
Dada a importância do clima externo para o trabalho, e a fim de construir uma temperatura interna de conforto compatível a amostra pesquisada por meio da relação entre a temperatura neutra e a

temperatura externa, foram realizadas duas regressões lineares entre os votos de sensação térmica e a temperatura exterior predominante. Optou-se por realizar uma situação mais restritiva, selecionando os votos médios de sensação térmica equivalentes ao voto neutro (VST=0) de todo o estudo; e outra situação adotando o intervalo entre os votos de sensação térmica médio igual a -1 e 1. Essa análise em duas vias mostra-se importante, pois conforme Nicol, Humphreys e Roaf (2012), mesmo que muitos pesquisadores considerem apenas os votos neutros dos indivíduos pesquisados para compor a temperatura de conforto de uma pesquisa, este fato pode trazer inconvenientes ao estudo, pois pode estar desconsiderando possíveis dados importantes.

O gráfico da Figura 64 mostra a regressão linear entre a temperatura interna de conforto (temperatura operativa média), eixo (y), e temperatura externa predominante (temperatura exponencialmente ponderada) referente ao dia em questão, eixo (x) a partir dos votos de sensação térmica médios resultantes em neutro (VST=0). Esta relação demonstrou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,7862, e a equação de conforto segundo o clima externo encontrada é indicada na Equação 18.

$$T. Conf = 0,6056 Tep + 9,7553 \quad (18)$$

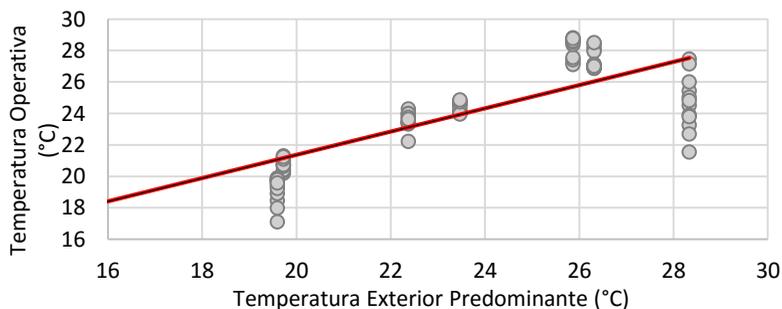
Figura 64 – Linha de temperatura interna de conforto (temperatura operativa) em função da temperatura exterior predominante, considerando os votos médios de sensação térmica neutra (VST=0)



O gráfico da Figura 65 mostra a linha de temperatura interna de conforto (temperatura operativa), eixo (y), em função da temperatura externa predominante (temperatura exponencialmente ponderada) referente, eixo (x) a partir dos votos de sensação térmica médios resultantes entre “levemente com frio” (VST=-1) e “levemente com calor” (VST=1). Esta relação demonstrou um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,729, e a equação de conforto segundo o clima externo encontrada é indicada na Equação 19.

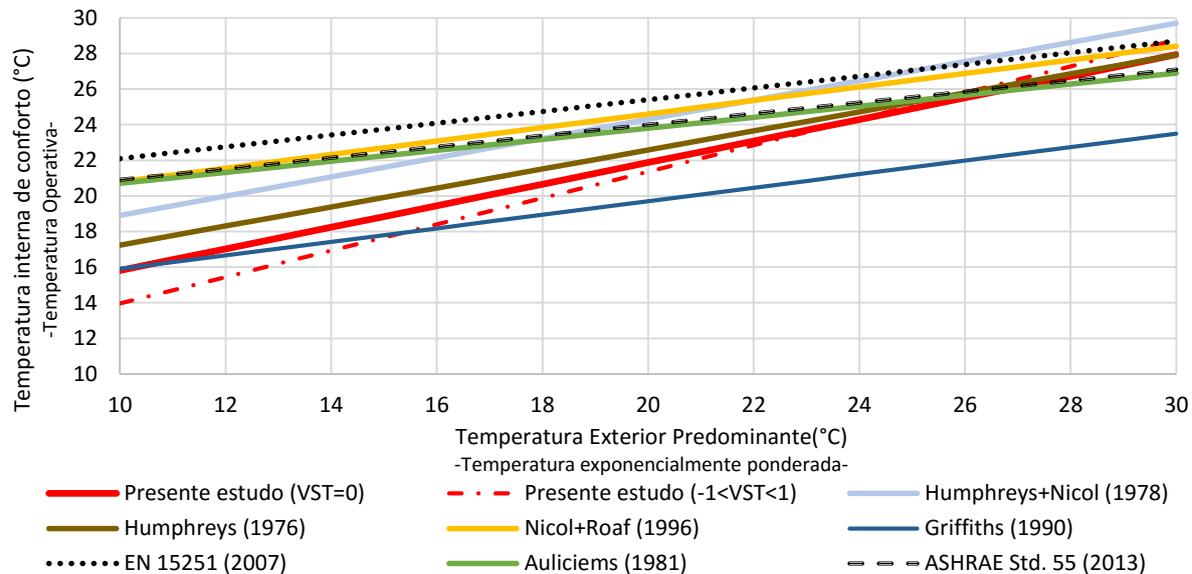
$$T. Conf = 0,7397 T_{ep} + 6,5683 \quad (19)$$

Figura 65 - Linha de temperatura interna de conforto (temperatura operativa) em função da temperatura exterior predominante, considerando os votos médios de sensação térmica entre -1 e 1



Muitos estudos de campo já propuseram a relação entre a temperatura interna de conforto (ou temperatura neutra) e temperatura de bulbo seco externa para ambientes naturalmente ventilados em diferentes climas, e ainda dentro de uma mesma proposta a união de climas distintos como o banco de dados da ASHRAE RP 884 (1997), utilizado para determinar a equação de conforto a partir do ambiente externo da ASHRAE Standard 55 (2013). O gráfico da Figura 66 mostra as linhas de temperatura de conforto (expressa por temperatura operativa) em função da temperatura exterior predominante (representada pela temperatura exponencialmente ponderada) para este estudo a partir das duas abordagens: relações estabelecidas a partir dos votos de sensação térmica neutros ( $VST=0$ ) e a partir dos votos entre “levemente com frio” ( $VST=-1$ ) e “levemente com calor” ( $VST=1$ ). O gráfico mostra também as linhas de temperatura de conforto para as principais equações de conforto desenvolvidas desde a década de 70 segundo a abordagem adaptativa. As Equações utilizadas são as Equações 04 a 10 do capítulo dedicado a revisão bibliográfica.

Figura 66 - Linhas de temperatura de conforto em função da temperatura operativa e temperatura exterior predominante para o presente estudo e principais estudos desenvolvidos segundo a abordagem adaptativa



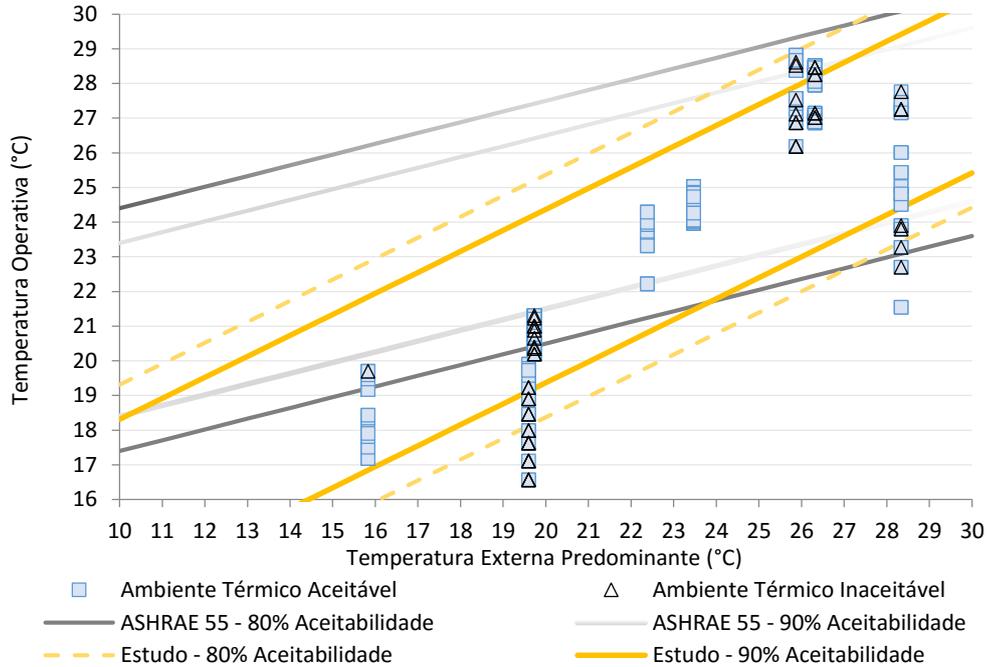
Ambas as propostas do presente estudo originaram linhas de conforto térmico mais íngremes que as demais equações de conforto térmico comparadas. Esse fato pode sugerir que os indivíduos pesquisados habituados ao clima de Florianópolis, caracterizado por uma grande amplitude térmica sazonal, com verões quentes e invernos frios, apresentam uma maior adaptabilidade ao ambiente térmico. Nesta pesquisa, os indivíduos estavam em conforto ( $VST=0$ ) em uma faixa de temperatura entre  $19,3^{\circ}\text{C}$  e  $26,9^{\circ}\text{C}$ , e para o intervalo entre “levemente com frio” e “levemente com calor” ( $-1 < VST < 1$ ) a faixa correspondente ficou entre  $18,28^{\circ}\text{C}$  e  $27,53^{\circ}\text{C}$ , enquanto para a ASHRAE Standard 55 (2013), as mesmas condições indicariam um intervalo de temperaturas de conforto entre  $22,7^{\circ}\text{C}$  e  $26,6^{\circ}\text{C}$ . A equação de conforto que teve a maior amplitude, além das encontradas neste estudo, foi a construída por Humphreys e Nicol, em 1978, entre  $22^{\circ}\text{C}$  e  $28,8^{\circ}\text{C}$ , o que permite inferir que a base de dados utilizada seja de um clima ameno a quente. A equação de Griffiths, realizada a partir de pesquisas de campo na Europa em 1990, mostrou um intervalo para as condições de conforto deste estudo com amplitude intermediária dentre as equações estudadas, mas foi a que demonstrou valores de temperatura de conforto mais baixas, entre  $18,10^{\circ}\text{C}$  e  $22,9^{\circ}\text{C}$ . As equações de conforto determinadas pela ASHRAE Standard 55 (2013), desde o trabalho de De Dear et al. em 1997, e por Auliciems em 1981 mostram a menor inclinação entre todas as observadas. Nota-se quanto a isso a dimensão do espectro que cobre os tipos climáticos das bases de dados que alimentam estes estudos. Os dados de referência para a temperatura de conforto utilizada pela ASHRAE Standard 55 (2013) são oriundos de diferentes localidades em países como: Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Grécia, Paquistão, Cingapura, Tailândia, Indonésia e Austrália (DE DEAR et. al, 1997). O trabalho de Auliciems provinha de dados utilizados por Humphreys em 1978 e de pesquisas de campo realizadas em diferentes zonas climáticas na Austrália, Ásia, Américas e Europa. Estas observações sobre o clima mostram a importância de um modelo de análise de conforto térmico baseado na abordagem adaptativa ser construído em consonância com o contexto em que será aplicada. Isso sem mencionar as particularidades culturais que poderão refletir no modo de vestir, nas edificações e até mesmo no modo de controlar o ambiente térmico.

### **4.5.3 Comparativo entre os modelos adaptativos de conforto vigentes nas normas**

Conforme visto no item sobre temperatura neutra e temperatura externa, a equação de conforto construída a partir do presente estudo apresenta uma inclinação mais íngreme que a principal referência deste trabalho, a ASHRAE Standard 55 (2013), o que abrange uma amplitude maior de temperaturas de conforto. O gráfico da Figura 67 mostra os votos de aceitabilidade térmica absoluto dos indivíduos pesquisados, em função da temperatura operativa (eixo y) e da temperatura externa predominante (eixo x). Os intervalos de conforto ditados a partir da norma ASHRAE Standard 55 (2013) e os intervalos de conforto construídos a partir do presente estudo estão destacados em cinza e amarelo, respectivamente.

Observa-se que grande parcela dos votos que consideravam o ambiente térmico aceitável e estavam fora do intervalo da norma (pontos correspondentes às temperaturas mais baixas) foram incorporados pelo intervalo de conforto deste estudo. Dessa forma, 86% de toda a população investigada (393 votos de 455) que considera o ambiente térmico aceitável encontra-se dentro do limite de 80% de aceitabilidade construído a partir da equação de conforto deste estudo; para 90% de aceitabilidade, a parcela da população que era de 40% (184 votos de 455) segundo a equação de conforto da ASHRAE Standard 55 (2013), é de 84,6% (385 votos de 455) para o presente estudo.

Figura 67 - Aceitabilidade ao ambiente térmico para toda a população pesquisada e intervalos de conforto da ASHRAE Standard 55 (2013) e do presente estudo

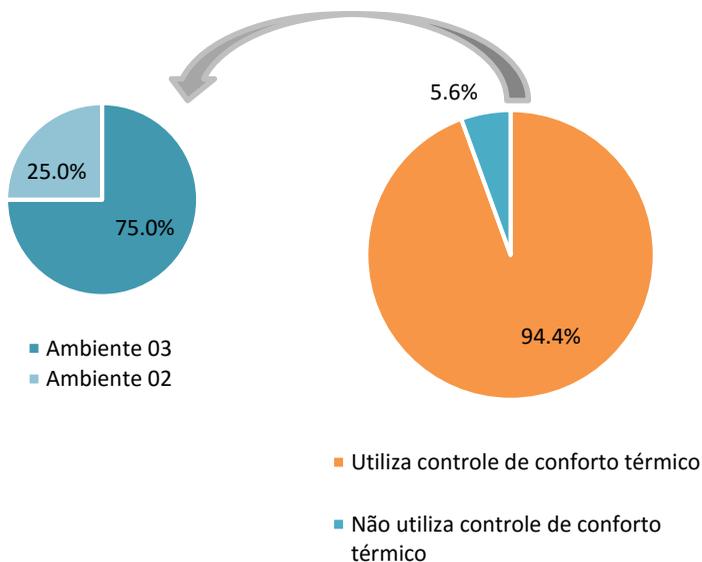


#### 4.6 USO DAS OPORTUNIDADES ADAPTATIVAS

De Dear et al. (1997) definem as oportunidades adaptativas como a possibilidade ou não de o edifício (e meio) oferecer intervenções adaptativas ao seu usuário. Dessa forma, o nível de atuação do sujeito no ato de adaptar-se está fortemente ligado a fatores exteriores a ele, seu contexto.

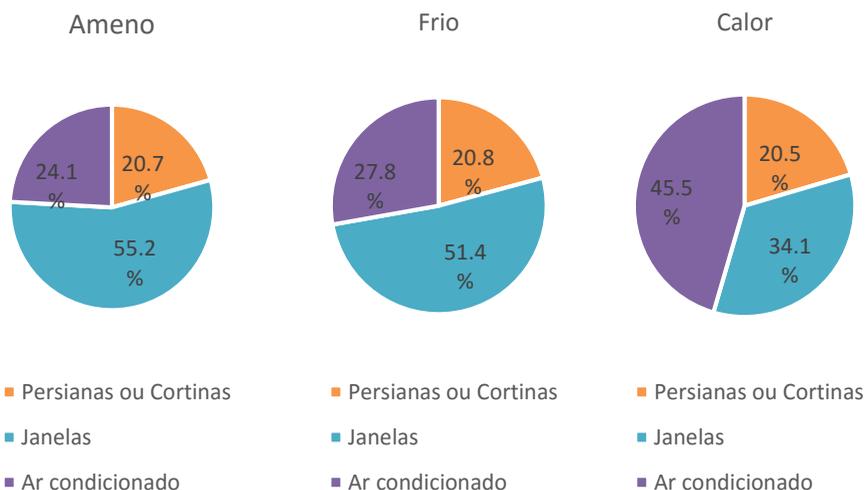
A primeira etapa do questionário, além de identificar o isolamento da vestimenta, localização do indivíduo no ambiente pesquisado e hábitos que possam dar uma identidade à população pesquisada, tem a intenção de conhecer as oportunidades adaptativas em uso pelos ocupantes. Quase a totalidade dos pesquisados, 94,4%, declara que utiliza algum tipo de controle de conforto térmico. Dentre os que declararam não utilizar algum tipo de controle, 75% são usuários do maior e mais populoso ambiente pesquisado, o Escritório 03, e 25% são usuários do segundo ambiente de maior área e maior população, o Escritório 02, como mostram os gráficos da Figura 68. A partir disso, pode-se inferir que a medida que o número de ocupantes de um ambiente aumenta, a taxa de percepção em relação ao controle do ambiente diminui, o que pode influenciar na aceitabilidade dos ocupantes em relação ao uso da ventilação natural, por exemplo. Isso mostra que a existência de oportunidades adaptativas não garante o seu uso por todos os ocupantes.

Figura 68 - Uso de controle de conforto térmico nos ambientes pesquisados



Nos períodos de clima ameno e frio, o tipo de controle mais lembrado pelos pesquisados foi a janela, seguido pelo ar-condicionado, cortinas e persianas. Já no período de calor, o controle térmico mais utilizado pelos pesquisados foi o ar-condicionado, seguido pela janela, e por último persianas e cortinas. Os gráficos da Figura 69 mostram a participação dos três tipos de controle do ambiente térmico usados pela população investigada para cada período da pesquisa. Porém, ressalta-se que esta pesquisa foi realizada somente em períodos em que o sistema de ar-condicionado estava desligado.

Figura 69 - Tipos de controle de conforto térmico utilizados nos três períodos da pesquisa



A ideia de que o fato do indivíduo possuir o controle do seu ambiente térmico irá interferir nas suas expectativas em relação a este ambiente e ampliar sua tolerância às variações de temperatura é vista por Halawa e Hoof (2012) justamente ao contrário. Para eles, o fato de o indivíduo possuir o controle de seu ambiente térmico irá fazer com que ele fique ainda mais exigente em relação ao seu contexto térmico e suas expectativas.

#### 4.7 PARTICULARIDADES DAS EDIFICAÇÕES E SEUS USUÁRIOS NA PROMOÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

Conforme visto na descrição dos ambientes pesquisados no Método do trabalho, os quatro ambientes apresentam tipologias bastante distintas entre eles, desde as dimensões do ambiente, orientação e configuração de fachadas, características do entorno, e até mesmo *layout* interno. Logo, mostra-se de grande importância lançar o olhar para as particularidades dos ambientes e seus usuários em uma análise de conforto térmico por meio da abordagem adaptativa.

Conforme visto, o escritório 01 apresenta duas faces em contato com o exterior, a nordeste e sudeste. A fachada nordeste recebe

radiação solar direta no período da manhã, durante todo o ano. Já a fachada sudeste recebe insolação nas primeiras horas da manhã, durante o verão. Ambas as fachadas apresentam entorno desobstruído, o que facilita o aproveitamento da ventilação natural, principalmente oriunda do quadrante nordeste, ventos mais frequentes em Florianópolis, inclusive durante o verão. Os gráficos da Figura 70 e da Figura 71 apresentam as temperaturas de bulbo seco externa, temperaturas do ar e de globo internas de dois dias de estudo realizado neste ambiente, para o período de clima ameno e quente, respectivamente. No período ameno, observa-se a temperatura de globo superior à temperatura do ar, já no período quente observa-se o inverso, mesmo que as diferenças sejam muito pequenas.

Figura 70 - Temperaturas médias horárias medidas em 23 de maio de 2014

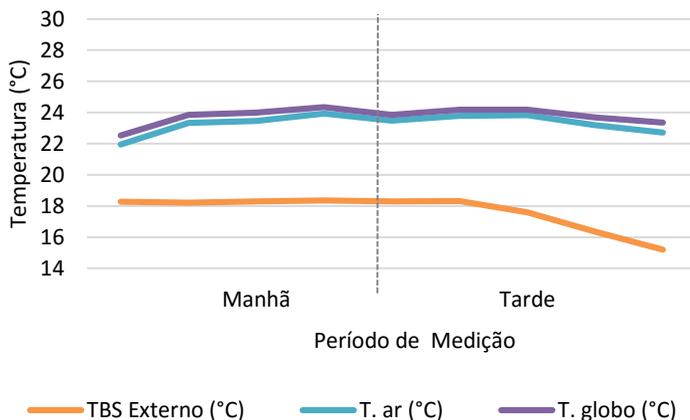
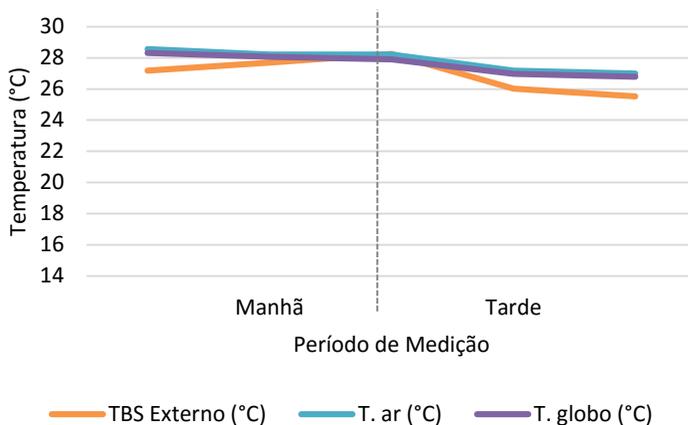


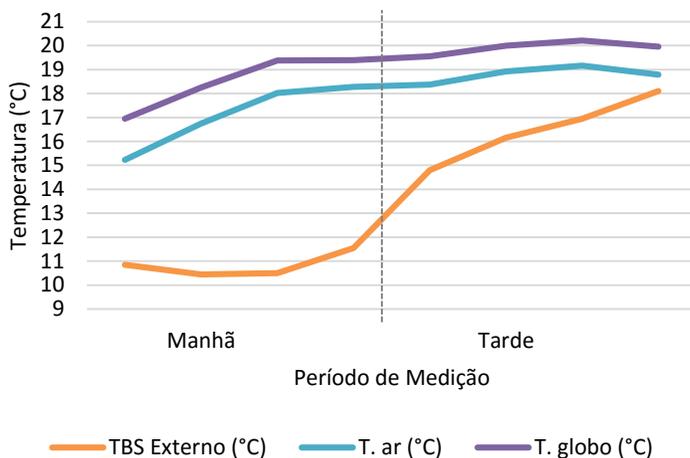
Figura 71 - Temperaturas médias horárias medidas em 04 de dezembro de 2014



Sobre o comportamento dos ocupantes em relação a este ambiente e suas oportunidades adaptativas foi possível observar, e os relatos sobre desconforto visual confirmam, que as persianas somente são abertas quando se abrem as janelas, já que com o vento elas movem-se e provocam ruído. A imprevisibilidade das correntes de ar, muitas vezes faz com que os usuários fechem as janelas e não retornem a abri-las. Neste ambiente, observou-se que 50% dos indivíduos pesquisados modificaram sua vestimenta no período ameno da pesquisa.

O escritório identificado como 02 também apresenta duas faces em contato com o exterior, orientadas a noroeste e sudoeste. Ambas as fachadas recebem radiação solar direta no período da tarde no verão. No inverno, apenas a fachada noroeste recebe radiação no fim da manhã e início da tarde. A Figura 72 apresenta o gráfico com as temperaturas de bulbo seco, temperatura do ar interna e temperatura de globo para este ambiente no dia de levantamento de dados. As temperaturas internas em todo o estudo apresentaram-se muito parecidas. Geralmente, a temperatura de globo é ligeiramente superior a do ar no período frio e ameno. Para os dois ambientes de maiores dimensões e populações, ambiente 2 e 3, a diferença entre a temperatura do ar e temperatura de globo se acentua, como pode ser observado também no gráfico da Figura 72. Acredita-se que, além da temperatura do ar nestes dias de estudo ser baixa, há uma carga de calor radiante significativa pela população e equipamentos dos ambientes.

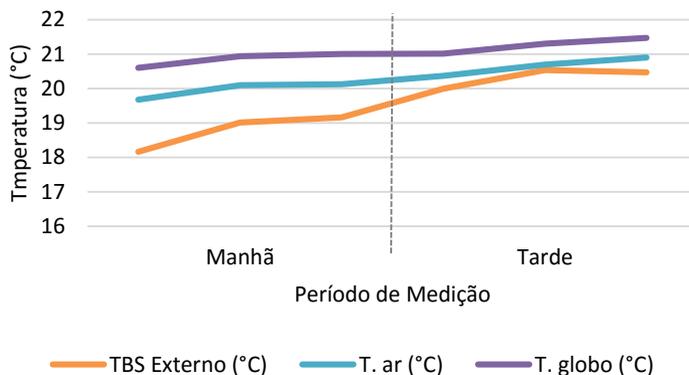
Figura 72 - Temperaturas médias horárias medidas em 20 de junho de 2014



Sobre o comportamento dos ocupantes em relação ao ambiente e suas oportunidades adaptativas, foi possível observar durante todo o dia de experimento indivíduos abrindo e fechando as janelas, ora pela necessidade de renovar o ar do ambiente, ora por estarem sentindo frio. Estas modificações ocorriam apenas pela ação dos dois indivíduos sentados mais próximos às janelas. Mesmo que a velocidade do ar não tenha sido monitorada nas investigações em campo do período frio, acredita-se que as janelas eram fechadas pela baixa temperatura e não pela movimentação, já que a medição central da velocidade do ar registrou níveis muito próximos de zero neste ambiente. Não houveram alterações na vestimenta informada pelos pesquisados neste ambiente.

O Escritório 03 apresenta uma única face para o exterior orientada a oeste. Esta fachada recebe radiação solar direta no período da tarde durante todo o ano, sempre com alguma porção sombreada pelo elemento externo. Uma circulação de ar substancial neste ambiente é fortemente dependente dos ambientes adjacentes e da porta de acesso ao escritório para que haja a diferença de pressão causada por outras aberturas. O gráfico da Figura 73 mostra as temperaturas de bulbo seco, interna do ar e de globo para este escritório.

Figura 73 - Temperaturas médias horárias medidas em 09 de julho de 2014



A respeito do comportamento dos ocupantes em relação ao ambiente e suas oportunidades adaptativas, foi possível observar o fechamento de algumas persianas no período da tarde por parte dos dois indivíduos que têm suas estações de trabalho mais próximas às janelas, e os vidros foram mantidos fechados durante o dia todo. Neste ambiente, 29% dos indivíduos modificaram sua vestimenta durante a aquisição dos dados.

A fachada do escritório 04 (única face em contato com o exterior além da cobertura) está ligeiramente inclinada para o quadrante sudeste, desta forma, no início das manhãs de verão recebe algumas horas de radiação solar direta. O aproveitamento da ventilação natural é dificultado pelo desenho do ambiente, e conseqüente falta de outro acesso ao exterior, já que a fachada apresenta entorno desobstruído, e facilitaria o aproveitamento da ventilação natural oriunda do quadrante sul, o que poderia ser aproveitado nas entradas de frente fria no período do verão. Os gráficos da Figura 74 e da Figura 75 apresentam as temperaturas de bulbo seco externa, temperaturas do ar e de globo internas dos dois dias de estudo realizado neste ambiente, para o período de frio e calor, respectivamente. No período frio, observa-se que a temperatura externa é superior as temperaturas internas até parte da tarde, quando ocorre uma brusca queda na temperatura de bulbo seco.

Figura 74 - Temperaturas médias horárias medidas em 28 de julho de 2014

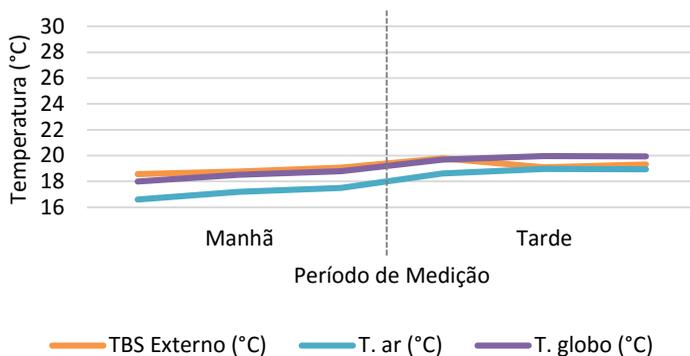
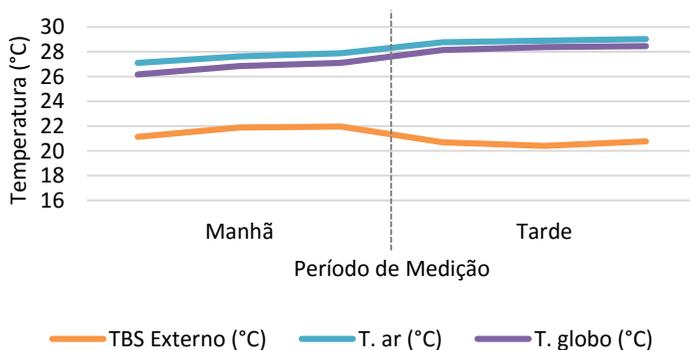


Figura 75 - Temperaturas médias horárias medidas em 05 de dezembro de 2014



Sobre o comportamento dos ocupantes em relação ao ambiente e suas oportunidades adaptativas, foi possível observar que as persianas não tiveram sua configuração alterada em nenhum momento dos estudos, permanecendo inteiramente abertas, mesmo quando no início da manhã do período quente havia a incidência de radiação solar direta. No período frio, os vidros foram mantidos fechados e no período de calor foram mantidos abertos, sem alteração no decorrer do dia.

## 5 CONCLUSÕES

Com o intuito de investigar a aplicação do modelo adaptativo de análise de conforto térmico às condições climáticas de Florianópolis, às preferências térmicas dos usuários e aos ambientes de escritórios naturalmente condicionados foram realizadas análises sobre a percepção do ambiente térmico e movimentação do ar de indivíduos em quatro ambientes de escritórios em Florianópolis.

Os estudos mostraram alta aceitabilidade da população pesquisada em relação ao seu ambiente térmico, mesmo que estes ambientes não tenham apresentado a conformidade esperada com o modelo usado como referência de 80% e 90% de aceitabilidade segundo a ASHRAE Standard 55. As investigações acerca da influência dos parâmetros ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa, velocidade do ar, temperatura de bulbo seco externa, umidade relativa externa, e temperatura externa predominante) e do isolamento da vestimenta mostram que neste estudo há o domínio da influência da temperatura operativa (temperatura do ar e temperatura radiante média) sobre a sensação térmica dos indivíduos, conforme o modelo adaptativo enuncia.

As análises mostraram alta aceitabilidade da população pesquisada em relação ao seu ambiente térmico, 89%. Quando aplicados aos limites de aceitabilidade propostos pelas normas ASHRAE Standard 55 (2013) e EN 15251 (2007), os votos de aceitabilidade reduzem para 70% da população pesquisada em relação ao intervalo de 80% de aceitabilidade, 40% em relação ao intervalo de 90% e 27% em relação à Categoria II da norma européia, mostrando a baixa conformidade das referências do modelo ao presente estudo. É importante observar que a maioria absoluta dos indivíduos que consideram o ambiente aceitável fora dos limites das normas encontram-se sob condições de clima frio. Sendo assim, a análise dos níveis de isolamento da vestimenta mostraram que estas pessoas apresentavam valores superiores a aplicabilidade do modelo na ASHRAE Standard 55 (2013) de 1 *clo*, pois 37% dos investigados no período frio apresentaram índices entre 1 *clo* e 1,38 *clo*. Quanto ao isolamento da vestimenta, observou-se também que no período ameno da pesquisa, quando os votos de aceitabilidade estavam dentro dos limites das normas, 19% dos indivíduos

apresentaram valores superiores a 1 *clo*, reafirmando não ser adequada a limitação de níveis de isolamento dentro da abordagem.

Em relação ao período quente da pesquisa, apenas cinco votos foram registrados fora dos limites de 80% de aceitabilidade, e ocorreram abaixo do limite mínimo. Dentre os demais votos do período, ou seja, dentro do intervalo de conforto, o percentual de votos inaceitável foi de 16%. A partir desta faixa da população foi explorada a relação entre a inaceitabilidade em relação ao ambiente térmico e sensação de calor com a umidade relativa do ambiente, e constatou-se que a umidade relativa pode ser um fator determinante na sensação de calor dos indivíduos em conjunto com a temperatura do ar. Os votos de inaceitabilidade ocorreram em sua maioria em duas condições climáticas distintas: temperaturas operativas superiores a 27°C com níveis de umidade relativa inferiores a 50%; e temperaturas operativas entre 23°C e 24°C com níveis de umidade relativa entre 60% e 70%. A inaceitabilidade pode ser influenciada pela alta temperatura no primeiro caso e no segundo, pelo nível de umidade relativa. Lembrando que, a temperatura do ar mostrou ter maior influência que a umidade relativa do ar na sensação térmica dos indivíduos na análise de influência dos parâmetros ambientais sobre a sensação térmica, a observação, de certa forma mais identitária que matemática, dos dados adquiridos em campo abre a discussão para as particularidades de cada contexto frente as generalizações que podem ocorrer a partir da aplicação do modelo adaptativo de conforto térmico.

Os votos de sensação térmica fornecidos pelos indivíduos em campo foram amplamente explorados no decorrer da pesquisa, mesmo que aproximadamente 90% deles estavam entre as sensações “levemente com frio (VST=-1) e “levemente com calor” (VST=1), ou seja, conforto térmico. Primeiramente, eles mostram com clareza que condições muito parecidas de temperatura podem suscitar em respostas de sensação térmica distintas entre os indivíduos, o que leva a retomar a importância de outros parâmetros (ambientais e pessoais) na neutralidade térmica do indivíduo. No entanto, o trabalho mostrou que dentro de determinados limites, é possível avaliar conforto térmico tendo apenas a temperatura operativa como índice, como observado nos registros do período ameno, por exemplo.

O estudo voltado à movimentação do ar no período quente da pesquisa mostrou que as velocidades do ar no interior dos ambientes de

estudo é inferior as recomendações da ASHRAE Standard 55 (2013) para ampliar o limite de temperatura operativa em ambientes controlados por seus ocupantes, sem o auxílio de equipamentos auxiliares de ventilação.

Além da observação em campo a respeito do comportamento dos indivíduos em relação à modificação de seu ambiente térmico, o questionamento sobre o uso de algum tipo de controle de conforto térmico mostra o grau de consciência que o indivíduo tem sobre sua atuação no ambiente de trabalho, pois foi observada uma provável relação inversamente proporcional entre o número de ocupantes de um ambiente e a percepção em relação ao controle deste ambiente, o que pode influenciar na aceitabilidade dos ocupantes em relação ao uso da ventilação natural. Da mesma forma, acredita-se que o aumento da área do ambiente também pode influenciar na percepção de controle, e no uso efetivo das oportunidades adaptativas por todos os usuários do ambiente.

O conhecimento da temperatura neutra a partir das temperaturas operativas registradas nos estudos seccionadas por período da pesquisa reafirmam a influência do clima externo nas condições internas de conforto de um ambiente naturalmente condicionado, e mostram a variabilidade das condições de clima interno no decorrer do ano, como foi o caso de Florianópolis. Dessa forma, a determinação da temperatura de conforto para o presente estudo a partir do clima externo mostra a necessidade de se construir parâmetros matemáticos coerentes ao contexto climático e cultural a que serão aplicados, ou seja, um modelo de análise de conforto térmico por meio da abordagem adaptativa deve ser menos generalista e mais identitário a fim de estabelecer uma maior interface com a realidade local.

## 5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As principais limitações encontradas durante a realização desta pesquisa estão relacionadas à análise final dos dados. Como a amostra pesquisada é pequena em relação aos estudos em campo que têm sido realizados na área de conforto térmico, análises estatísticas quantitativas podem não ser representativas na explicação de alguns fenômenos e o olhar nas individualidades dos dados é necessário, trazendo um caráter mais qualitativo à pesquisa.

Por conta disso, os resultados desta pesquisa somente são aplicados aos contextos climáticos, parâmetros pessoais e edificações aqui expostos. As relações estabelecidas principalmente a partir de regressões lineares, como a análise da sensação térmica em função dos parâmetros ambientais e vestimenta, não são passíveis de generalizações.

Outra limitação encontrada diz respeito a análise de influência dos parâmetros ambientais que não foi realizada de forma paramétrica, o que poderia levar a uma maior aproximação da importância de cada variável no conjunto em cada período da pesquisa.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante a realização deste trabalho observaram-se ramificações e limitações referentes ao tema e que podem ser exploradas a fim de investigar a aplicação do modelo adaptativo de conforto térmico em diferentes contextos. A seguir, são apresentadas sugestões de estudos que podem ser desenvolvidos de maneira a acrescentar as análises:

- a) Pesquisar extensivamente o período quente a fim de examinar a interferência da umidade do ar em balanço com a influência da temperatura do ar, já que estas variáveis têm pesos diferentes na sensação térmica;
- b) Aprofundar-se nas questões relacionadas à velocidade do ar e alta variabilidade da variável na sensação de conforto em ambientes naturalmente ventilados, sem o uso de equipamentos auxiliares;
- c) Explorar maneiras de inquirir dados subjetivos em campo com foco na abordagem adaptativa, a fim de obter maior precisão na expressão matemática das percepções humanas;
- d) Caracterizar substancialmente os contextos, principalmente climáticos, nos quais a abordagem adaptativa se desenvolveu e tem se desenvolvido em pesquisas por todo o mundo;
- e) Para estudos de caso com pequena amostra como o presente trabalho, explorar a temperatura de conforto pelo viés do método introduzido por Griffiths em 1990, que visa

obter a temperatura média de conforto para pequenas amostras de votos de sensação térmica.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, J. Implicações do Conforto Térmico no Consumo Energético – Uma Hipótese de Modelo Adaptativo Aplicada ao Verão. DISSERTAÇÃO. Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa. 2012.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Std. 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

AULICIEMS, A. Effects of Weather on Indoor Thermal Comfort. Int. J. Biometeor, v. 13, n. 2, p. 147-162, 1969.

AULICIEMS, A.; SZOKOLAY, S. Thermal Comfort. PLEA: Passive and Low Energy Architecture International. Note 3, 2<sup>o</sup> ed. 2007.

BITTENCOURT, L; CÂNDIDO, C. Introdução à Ventilação Natural. Maceió: Edufal, 2005. 147p.

BRAGER, G; FOUNTAIN, M; BENTON, C; ARENS, E; BAUMAN, F. A Comparison of Methods for Assessing Thermal Sensation and Acceptability in the Field. BERKELEY, U. C. Center for the Built Environment. 1993.

CÂNDIDO, C. Comfort in hot-humid climates (Aceitabilidade do movimento do ar e conforto térmico em climas quentes e úmidos). TESE. 2010. PPGEC.UFSC.

CÂNDIDO, C; DE DEAR, R; LAMBERTS, R. Combined thermal acceptability and air movement assessments in a hot humid climate. Building and Environment, v.46, n.2, p.379-385, 2011.

DE DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ASHRAE RP - 884. Berkeley, Sydney, Março, 1997.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. Climate, Comfort & Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55. Berkeley, 2001.

DE DEAR, R. Thermal Comfort in Natural Ventilation: A neurophysiological hypothesis. In: Windsor Conference: Adapting To Change: New Thinking on Comfort, 6, Windsor, UK, 2010.

DE VECCHI, R. et al. Application of the adaptive model proposed by ASHRAE 55 in the Brazilian climate context : raising some issues. v. 15251, n. April, p. 10–13, 2014.

DE VECCHI, R. Condições de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar em salas de aula com ventiladores de teto para o clima de Florianópolis/SC. DISSERTAÇÃO. PPGEC-UFSC. 2011.

DHAKA, S.; MATHUR, J.; BRAGER, G.; HONNEKARI, A. Assessment of thermal environmental conditions and quantification of thermal adaptation in naturally ventilated buildings in composite climate of India. *Building and Environment*, v. 86, p. 17-28, 2014.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 15251: Indoor Environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustic. Bruxelas, 2007.

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

GOULART, S. V. G. Thermal Inertia and Natural Ventilation: Optimization of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil. TESE. 2004 Architectural Association School of Architecture.

HALAWA, E.; HOOFF, J. The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. *Energy and Buildings*, v. 51, n. 6, p. 101-110, 2012.

HEISELBERG, P. Principles of hybrid ventilation, IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme Annex 35 “Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office

Buildings”, Hybrid Ventilation Centre, Aalborg University, 2002.

HUMPHREYS, M. A. Field studies of thermal comfort compared and applied. *Building Services Engineer*, p. 5-23, 1976.

HUMPHREYS, M. A; HANCOCK, M. Do people like to feel “neutral”? *Energy and Buildings*, v. 39, n. 7, p. 867–874, jul. 2007.

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

INDRAGANTI, M. Using the adaptive model of thermal comfort for obtaining indoor neutral temperature: Findings from a field study in Hyderabad, India. *Building and Environment*, v. 45, p. 519–536. 2010.

INDRAGANTI, M.; OOKA, R.; RIJAL, H. B. Thermal comfort in offices in summer: Findings from a field study under the “setsuden” conditions in Tokyo, Japan. *Building and Environment*, v. 61, p. 114–132, mar. 2013.

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

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7726. Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. Genebra, 1998.

INTERNACIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7730. Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genebra, 2005.

KARYONO, T. H. Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta - Indonesia. *Building and Environment*, v. 35, p. 77–90, 2000.

LAMBERTS, R; CANDIDO, C; DE DEAR, R; DE VECCHI, R. Towards a Brazilian Standard on Thermal Comfort. Research Report. Federal University of Santa Catarina (LabEEE) e University of Sydney (IEQ Lab). 2013.

LEITE, R. C. V.; FROTA, A. B. Cidade, vento, energia: simulações computacionais preliminares para avaliação da ventilação natural em meio urbano adensado. In: Encontro Nacional de Tecnologia do ambiente Construído, 14. Anais...Juiz de Fora: ENTAC, 2012.

MENDONÇA, F.; OLIVEIRA, I. M. D. Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENDONÇA, M; LOMBARDO, M. El clima urbano de ciudades subtropicales costeras atlánticas: el caso de la conurbación de Florianópolis. *Revista de Geografía Norte Grande*, v. 44, p. 129-141, 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional, 2014.

NIACHOU, K.; HASSID, S.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. Experimental performance investigation of natural, mechanical and hybrid ventilation in urban environment. *Building and Environment*, v. 43, n. 8, p. 1373-1382, 2008.

NICOL, F. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. *Energy and Buildings*, v. 36, n. 7, p. 628-637, 2004.

NICOL, F.; HUMPHREYS, M.; ROAF, S. *Adaptive Thermal Comfort: Principles and Practice*. Londres: Routledge, 2012.

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

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

PEDRINI, A.; SZOKOLAY, S. Recomendações para o desenvolvimento de uma ferramenta de suporte às primeiras decisões projetuais visando ao desempenho energético de edificações de escritório em clima quente. *Revista do Ambiente Construído, Porto Alegre*, v. 5, n. 1, p.39-54, 2005.

PRATA, A. Impacto da altura dos edifícios nas condições de ventilação natural no meio urbano. 2005. 243p. Tese. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2005.

RIVERO, R. *Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural*. Porto Alegre: Ed. Da Universidade, 1985.

SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; LIVADA, I.; KORONAKIS, I.; GEORGAKIS, C.; ARGIRIOU, A.; ASSIMAKOPOULOS, D.N. On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. *Solar Energy*, v. 70, n. 3, p. 201-216, 2001.

SANTAMOURIS. *Advances in Passive Cooling*. Londres: EARTHSCAN, 2007.

SHARMA, M. R; SHARAFAT, A. Tropical Summer Index: A study of thermal comfort of Indian subjects. *Building and Environmental*, v. 21, n. 1, p. 11 – 24, 1986.

TAMANINI, D; GHISI, E. Modelo predominante de edifícios de escritórios para análise energética em Florianópolis. PIBIC/UFSC. 2013.



## APÊNDICE

### APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO

Data:	Hora:	Horário de chegada no escritório:
1. Dados pessoais:		
Sexo: <input type="checkbox"/> Feminino <input type="checkbox"/> Masculino	Idade:	Peso: <input type="text"/> Altura: <input type="text"/>
2. Qual tipo de atividade você exerce neste ambiente, por quanto tempo diário?		

3. Qual roupa você está usando agora? Utilize a relação abaixo, assinalando cada item de roupa que compõe sua vestimenta:			
Camisa de manga curta	<input type="checkbox"/>	Colete fino	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/> Calça social/sarja
Camisa de manga longa	<input type="checkbox"/>	Colete grosso	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/> Meias de nylon (meia calça)
Camisa manga longa de flanela	<input type="checkbox"/>	Vestido longo	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/> Meias esportivas
Blusa moletom	<input type="checkbox"/>	Vestido curto	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/> Meia de lã
Jaqueta / suéter fino	<input type="checkbox"/>	Saia curta (joelho)	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/> Botas
Jaqueta / suéter grosso	<input type="checkbox"/>	Saia longa (canela)	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/> Tênis / sapato
Blazer fino	<input type="checkbox"/>	Bermuda	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/> Sapatilhas
Blazer grosso	<input type="checkbox"/>	Calça jeans	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/> Sandálias
Outra. Especifique: <input style="width: 80%;" type="text"/>			

4. Indique o local aproximado no qual você geralmente trabalha:
<i>PLANTA DO AMBIENTE EM QUESTÃO PARA MARCAR A LOCALIZAÇÃO</i>

5. Você utiliza algum tipo de controle ou ajuste do conforto térmico deste ambiente (janela, ventilador, etc) no seu dia a dia?	
Sim	Não



9. Como você gostaria de estar se sentindo neste momento? (Assinale a alternativa mais apropriada)							
	Voto 1	Voto 2	Voto 3	Voto 4	Voto 5	Voto 6	Voto 7
Com muito calor							
Com calor							
Levemente com calor							
Neutro							
Levemente com frio							
Com frio							
Com muito frio							

10. Para você, este ambiente térmico é:							
	Voto 1	Voto 2	Voto 3	Voto 4	Voto 5	Voto 6	Voto 7
Aceitável							
Inaceitável							

11. Como está sua transpiração neste momento?							
	Voto 1	Voto 2	Voto 3	Voto 4	Voto 5	Voto 6	Voto 7
Não está suando							
Suando pouco							
Suando moderadamente							
Suando muito							

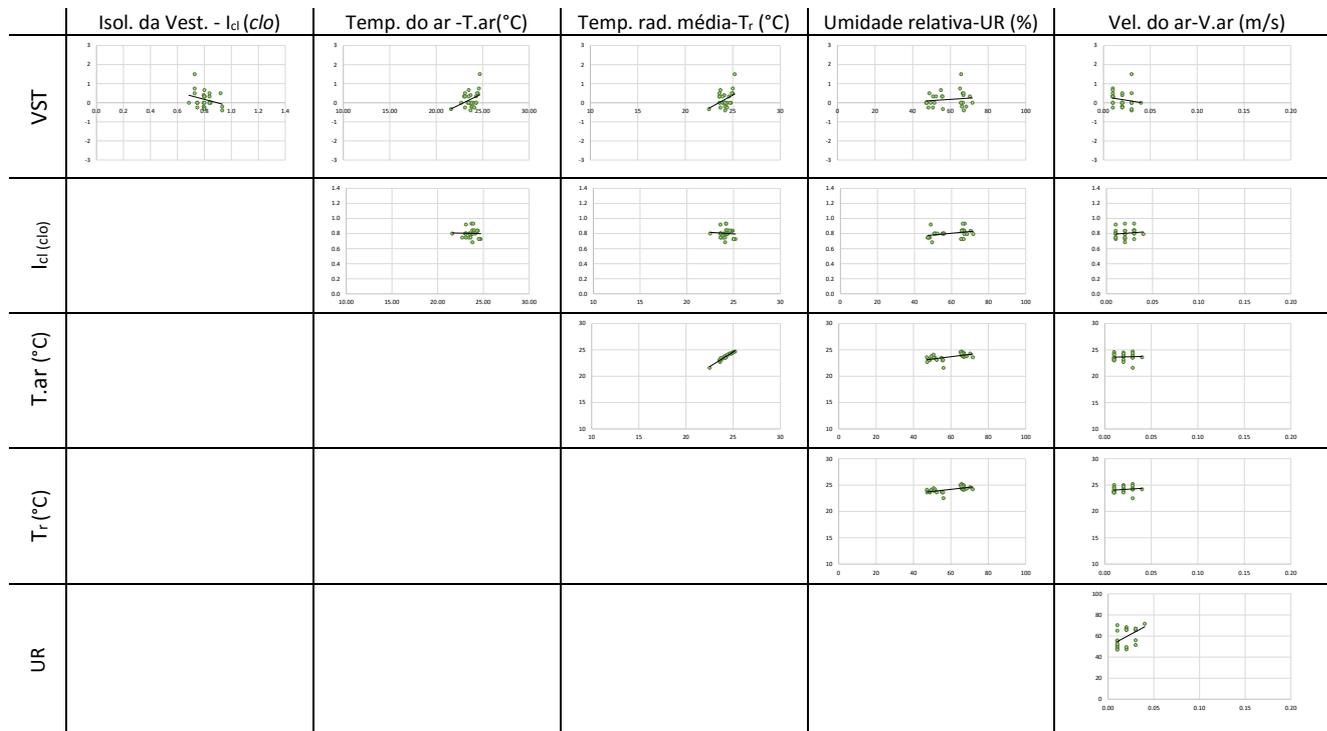
12. A situação exposta na questão anterior lhe causa desconforto ou incômodo?							
	Voto 1	Voto 2	Voto 3	Voto 4	Voto 5	Voto 6	Voto 7
Sim							
Não							



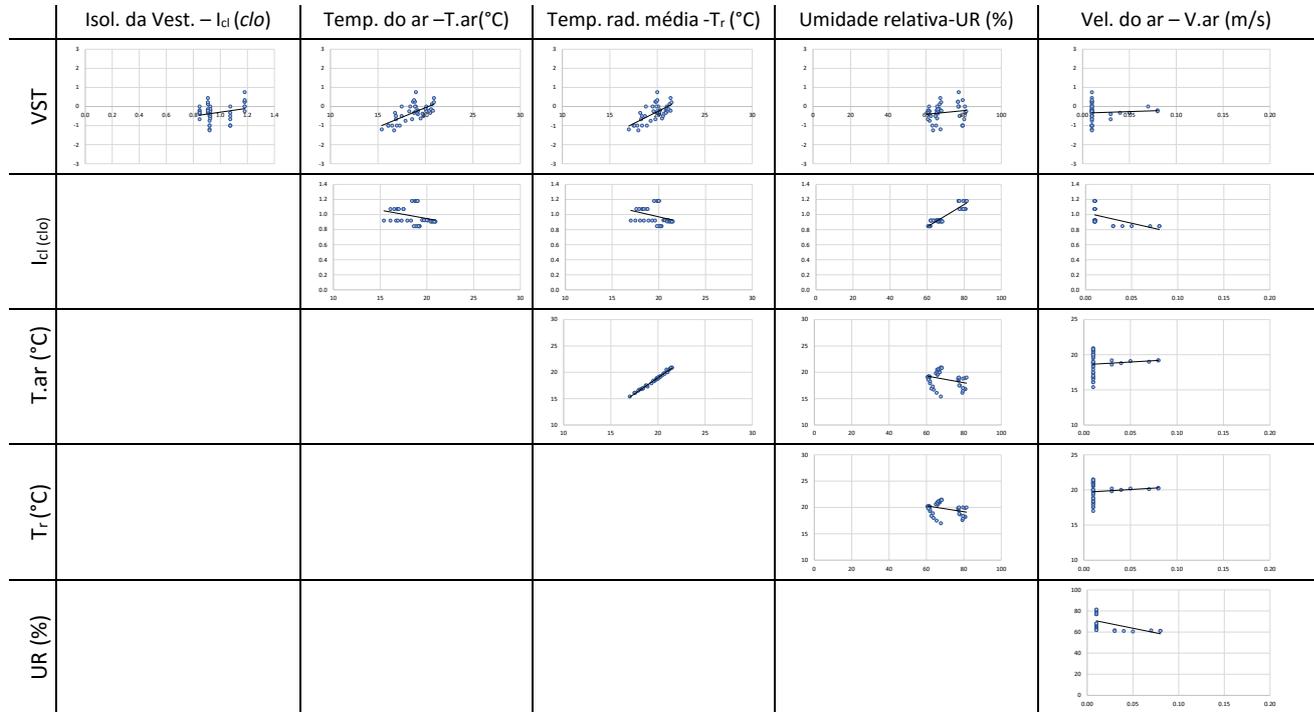
15. Possíveis alterações de atividade/ vestimenta	Voto 1	Voto 2	Voto 3	Voto 4	Voto 5	Voto 6	Voto 7
Alteração na vestimenta							
Qual alteração?							
Igeriu bebidas (quente ou fria)?							

APÊNDICE B - REGRESSÕES LINEARES ENTRE AS VARIÁVEIS  
AMBIENTAIS, PESSOAIS E SENSAÇÃO TÉRMICA

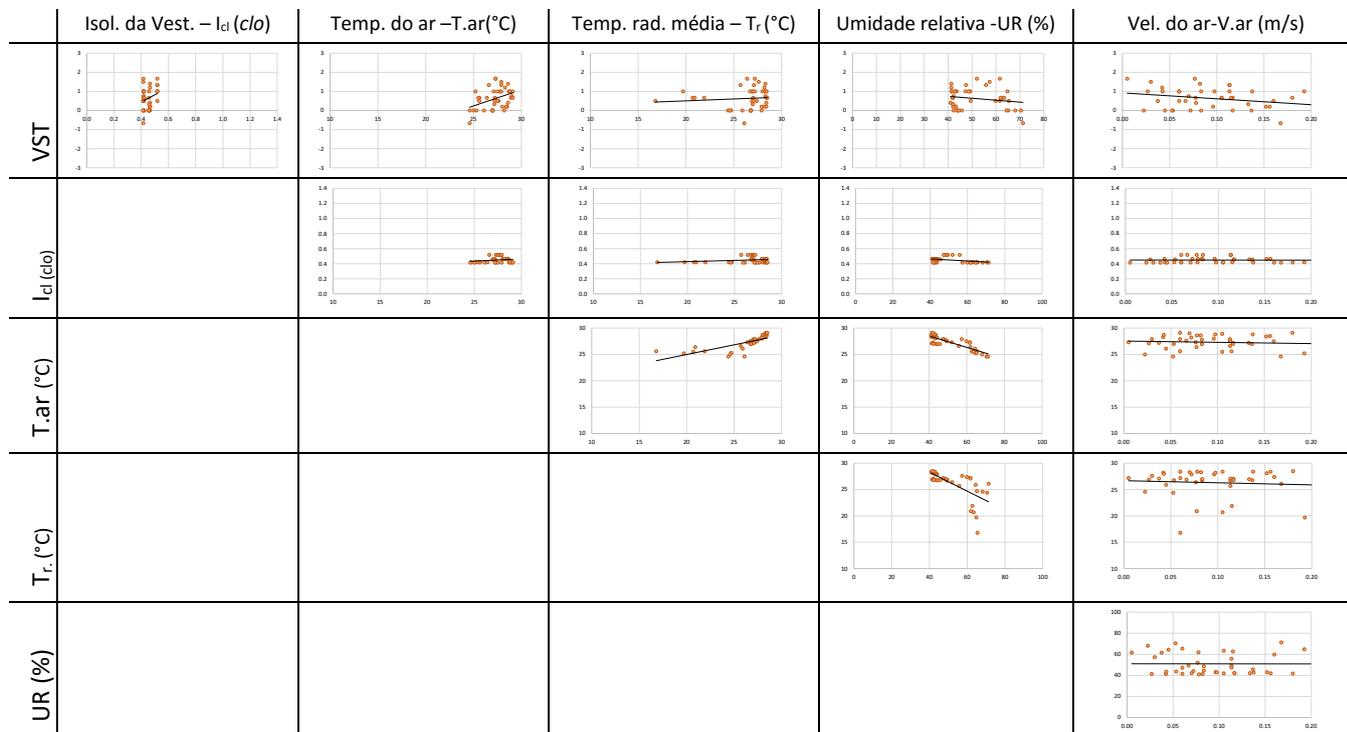
## B.1 Variáveis internas – Período ameno



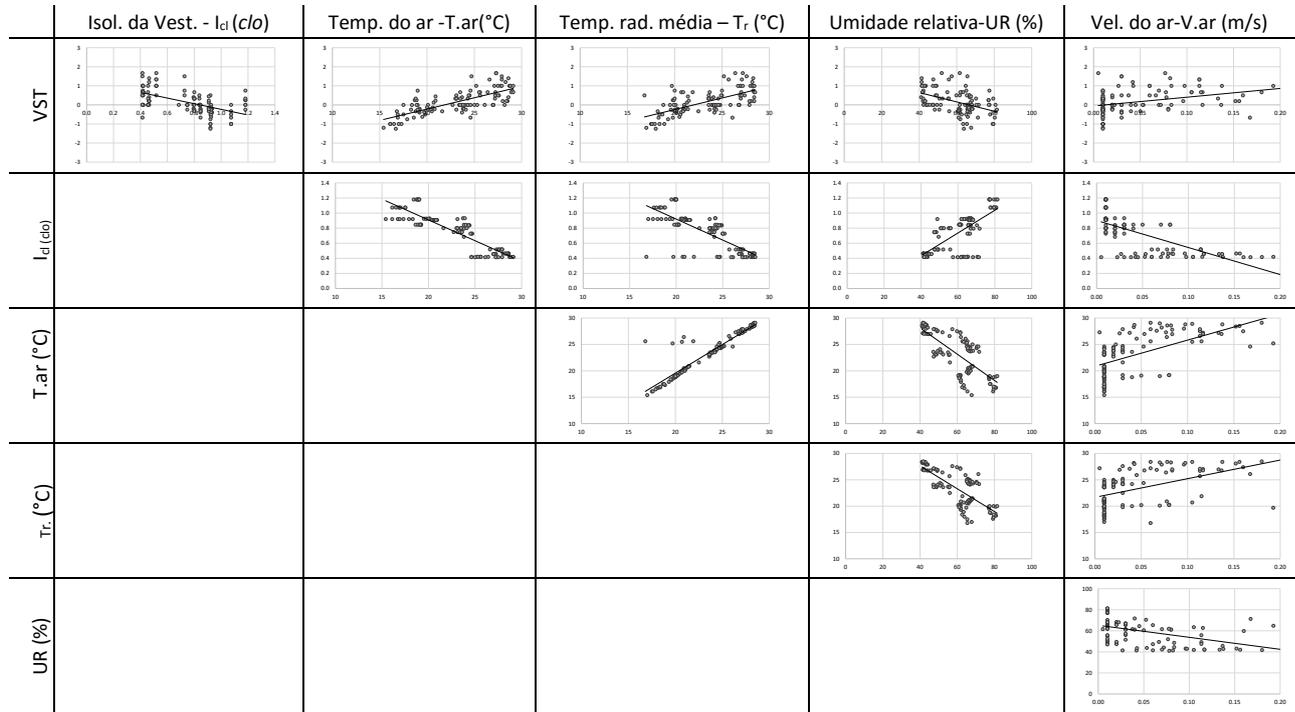
## B.2 Variáveis internas – Período frio



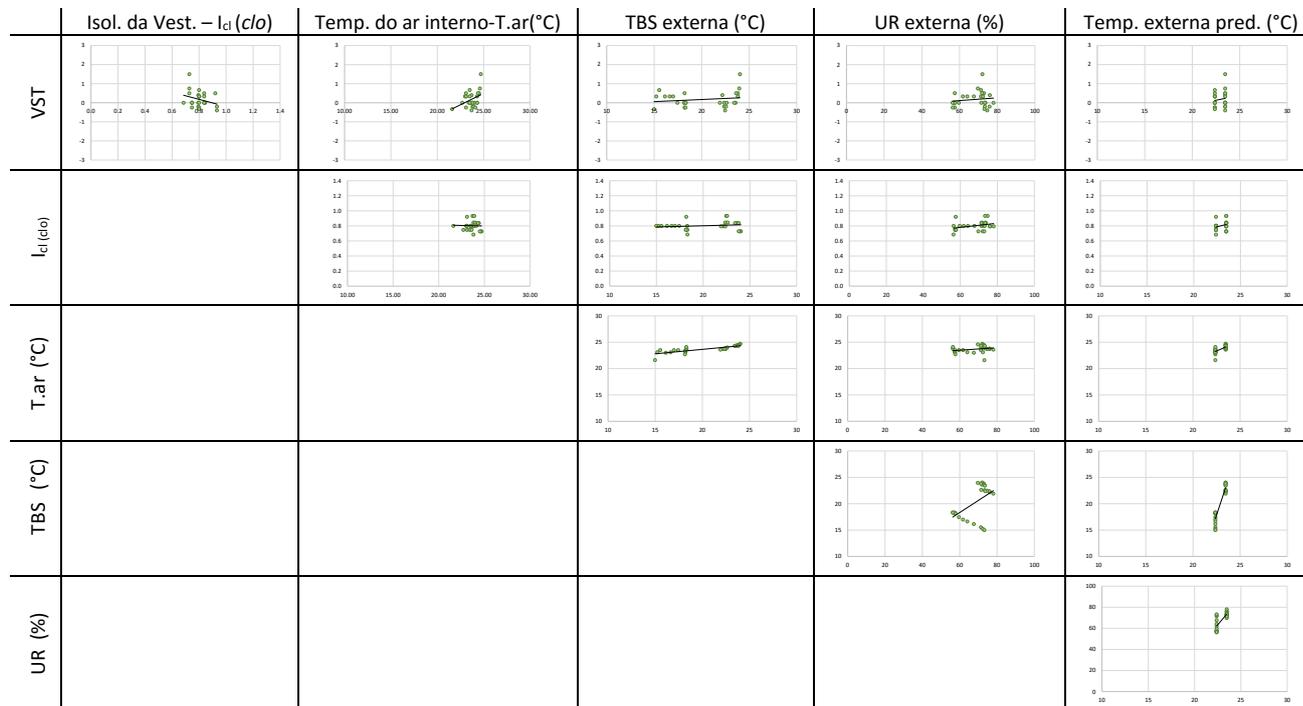
### B.3 Variáveis internas – Período quente



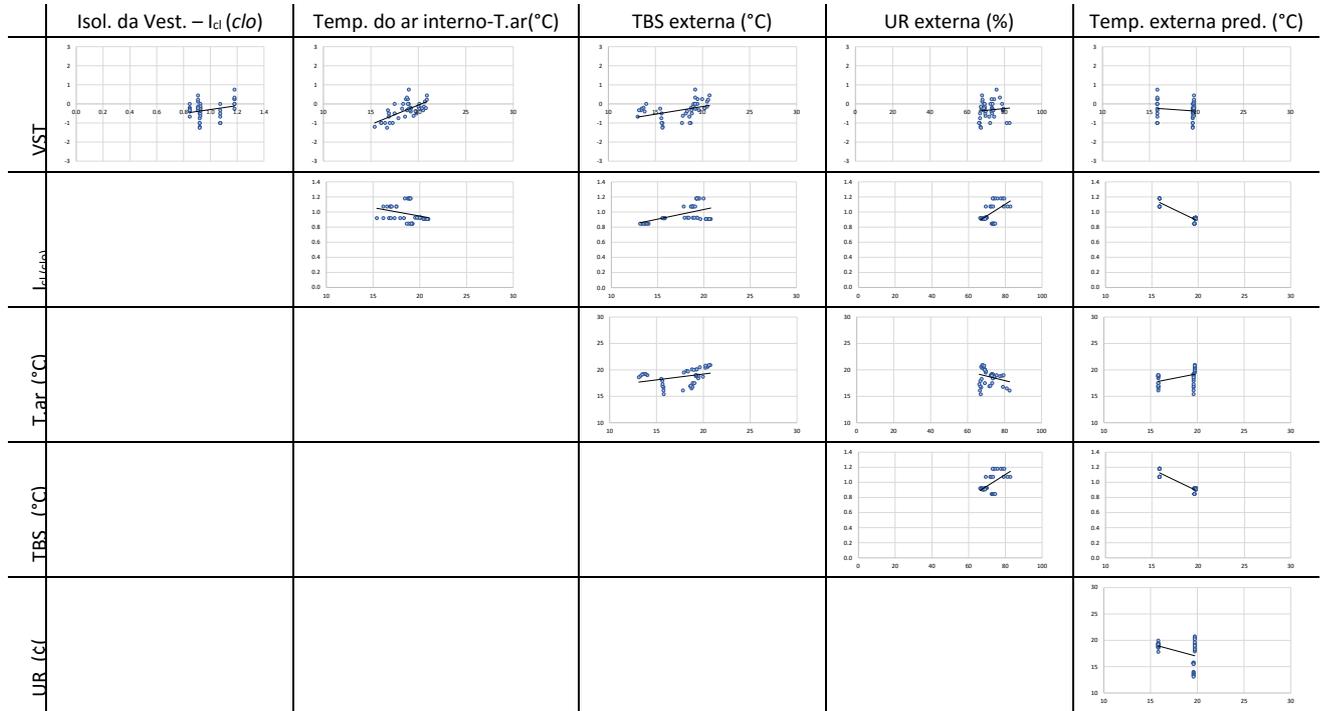
## .4 Variáveis internas – Amostra total da pesquisa



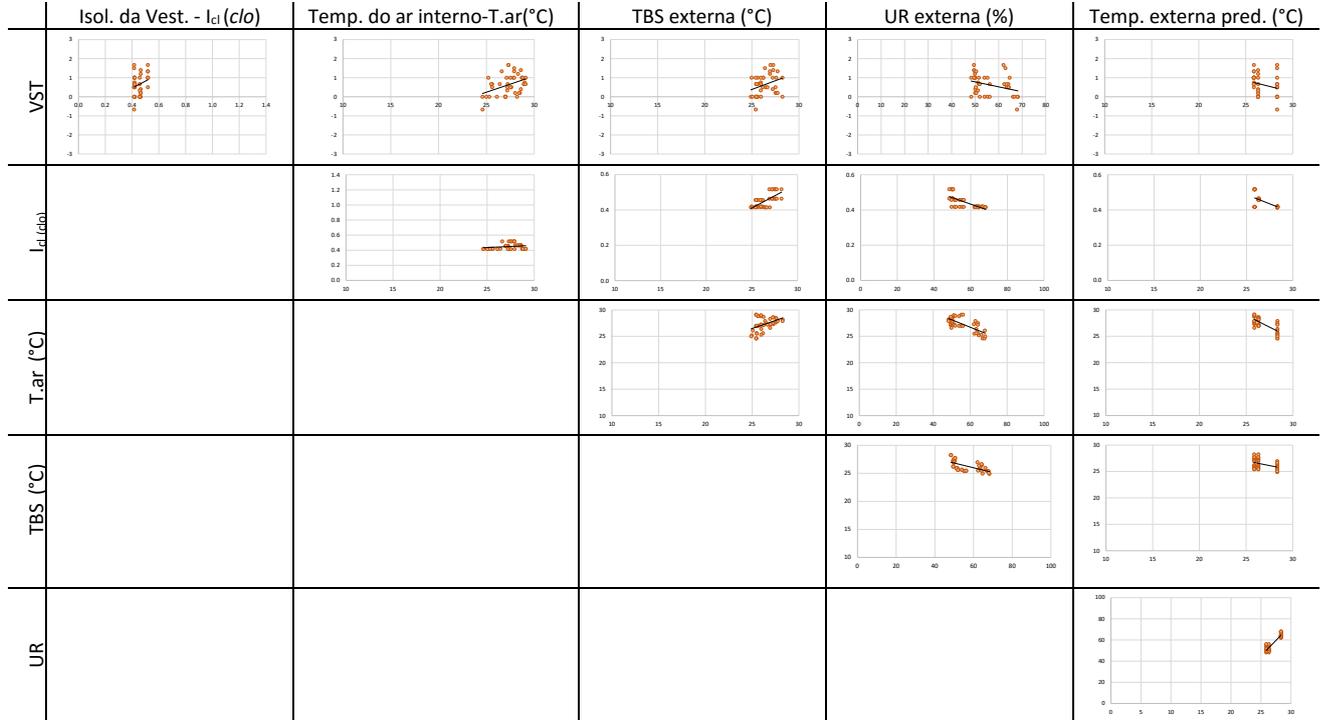
## B.5 Variáveis externas – Período ameno



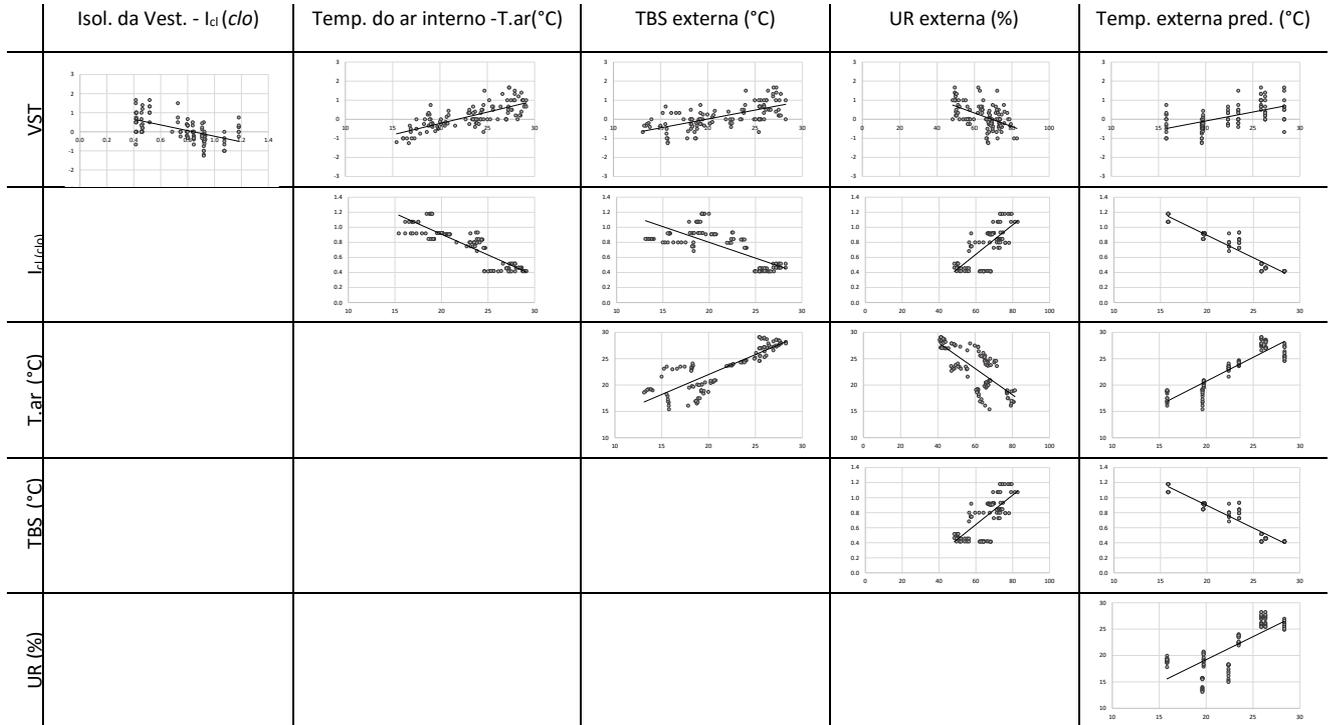
B.6 Variáveis externas – Período frio



### B.7 Variáveis externas – Período quente



B.8 Variáveis externas – Amostra total da pesquisa



B.9 Coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>)

## Período Ameno

Variáveis Internas							Variáveis Externas						
	VST	$I_{cl}(clo)$	T.ar(°C)	T <sub>r</sub> (°C)	UR (%)	V.ar (m/s)		VST	$I_{cl}(clo)$	T.ar(°C)	TBS (°C)	UR (%)	Tep (°C)
VST	1	0,0804	0,1555	0,1486	0,0198	0,0311	VST	1	0,0804	0,1555	0,0305	0,0178	0,0188
$I_{cl}$	---	1	0,001	0,0109	0,104	0,0181	$I_{cl}$	---	1	0,001	0,0289	0,1122	0,0804
T.ar	---	---	1	0,8982	0,3189	0,0034	T.ar	---	---	1	0,6436	0,0726	0,4697
T <sub>r</sub>	---	---	---	1	0,3368	0,0461	T <sub>rad</sub>	---	---	---	1	0,2935	0,8924
UR	---	---	---	---	1	0,2417	UR	---	---	---	---	1	0,6007
V.ar	---	---	---	---	---	1	V.ar	---	---	---	---	---	1

## Período Frio

Variáveis Internas							Variáveis Externas						
	VST	$I_{cl}(clo)$	T.ar(°C)	T <sub>r</sub> (°C)	UR (%)	V.ar (m/s)		VST	$I_{cl}(clo)$	T.ar(°C)	TBS (°C)	UR (%)	Tep (°C)
VST	1	0,0663	0,4443	0,4334	0,0232	0,0045	VST	1	0,0663	0,4443	0,1773	0,008	0,0191
$I_{cl}$	---	1	0,0826	0,0798	0,8597	0,2034	$I_{cl}$	---	1	0,0826	0,2807	0,3282	0,869
T.ar	---	---	1	0,972	0,0957	0,0095	T.ar	---	---	1	0,1248	0,0611	0,1825
T <sub>r</sub>	---	---	---	1	0,1049	0,0035	T <sub>rad</sub>	---	---	---	1	0,000003	0,1333
UR	---	---	---	---	1	0,2077	UR	---	---	---	---	1	0,5045
V.ar	---	---	---	---	---	1	V.ar	---	---	---	---	---	1

## Período Quente

Variáveis Internas							Variáveis Externas						
	VST	$I_{cl}(clo)$	T.ar(°C)	T <sub>r</sub> (°C)	UR (%)	V.ar (m/s)		VST	$I_{cl}(clo)$	T.ar(°C)	TBS (°C)	UR (%)	Tep (°C)
VST	1	0,0645	0,1626	0,0288	0,0355	0,0776	VST	1	0,0645	0,1626	0,1009	0,1061	0,0611
$I_{cl}$	---	1	0,0434	0,137	0,1388	0,0002	$I_{cl}$	---	1	0,0434	0,4951	0,3667	0,4635
T.ar	---	---	1	0,5632	0,7163	0,0084	T.ar	---	---	1	0,1977	0,5431	0,5568
T <sub>r</sub>	---	---	---	1	0,4666	0,0052	T <sub>rad</sub>	---	---	---	1	0,372	0,162
UR	---	---	---	---	1	0,0005	UR	---	---	---	---	1	0,8711
V.ar	---	---	---	---	---	1	V.ar	---	---	---	---	---	1

## Amostra total da Pesquisa

Variáveis Internas							Variáveis Externas						
	VST	$I_{cl}(clo)$	T.ar(°C)	T <sub>r</sub> (°C)	UR (%)	V.ar (m/s)		VST	$I_{cl}(clo)$	T.ar(°C)	TBS (°C)	UR (%)	Tep (°C)
VST	1	0,3339	0,5524	0,4444	0,2091	0,1271	VST	1	0,3339	0,5524	0,4307	0,2795	0,3401
$I_{cl}$	---	1	0,7854	0,5916	0,5199	0,5114	$I_{cl}$	---	1	0,7854	0,5688	0,5602	0,9106
T.ar	---	---	1	0,8654	0,5507	0,3778	T.ar	---	---	1	0,7206	0,5507	0,8087
T <sub>r</sub>	---	---	---	1	0,5682	0,2691	T <sub>rad</sub>	---	---	---	1	0,3813	0,5931
UR	---	---	---	---	1	0,2241	UR	---	---	---	---	1	0,4212
V.ar	---	---	---	---	---	1	V.ar	---	---	---	---	---	1