

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES  
ESCOLARES: ESTUDO DE CASO DO CENTRO DE EDUCAÇÃO  
PROFISSIONAL DO VALE DO CAÍ E DA ESCOLA DE ENSINO  
FUNDAMENTAL FREI PACÍFICO.**

**Renata Camboim Salatino Tubelo**

Porto Alegre

2011

**RENATA CAMBOIM SALATINO TUBELO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES  
ESCOLARES: ESTUDO DE CASO DO CENTRO DE EDUCAÇÃO  
PROFISSIONAL DO VALE DO CAÍ E DA ESCOLA DE ENSINO  
FUNDAMENTAL FREI PACÍFICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia na modalidade Acadêmico.

Porto Alegre

2011

T884a Tubelo, Renata Camboim Salatino  
Análise do desempenho térmico de edificações escolares : estudo de caso do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí e da Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico / Renata Camboim Salatino Tubelo. – 2011.

Dissertação(mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler

1. Desempenho térmico. 2. Conforto térmico. 3. Escolas. 4. Sustentabilidade. I. Sattler, Miguel Aloysio, orient. II. Título.

CDU-697(043)

**RENATA CAMBOIM SALATINO TUBELO**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES  
ESCOLARES: ESTUDO DE CASO DO CENTRO DE EDUCAÇÃO  
PROFISSIONAL DO VALE DO CAÍ E DA ESCOLA DE ENSINO  
FUNDAMENTAL FREI PACÍFICO**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, Área da Construção, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, Março de 2011.

**Prof. Miguel Aloysio Sattler**  
PhD pela University of Sheffield, UK  
Orientador

**Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho**  
Coordenador do PPGEC/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Ana Luiza Raabe Abitante**  
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

**Prof. Inácio Benvegno Morsch**  
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

**Profa. Léa Cristina Lucas de Souza**  
Doutora pela Universidade de São Paulo (USP/EESC)

À minha querida mãe.

## **AGRADECIMENTOS**

À Coordenadoria de Auxílio à Pesquisa e Extensão (CAPES), pela bolsa de estudos que possibilitou a minha dedicação exclusiva a esta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), que cedeu os equipamentos de medição utilizados na pesquisa.

À Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico e ao Centro de Educação Profissional do Vale do Caí, representados pelos seus diretores, respectivamente, Profa. Maria Teresinha de Oliveira Medeiros e Prof. Luis Carlos Cavalheiro da Silva, que permitiram o monitoramento das Instituições.

À Carolina Gemelli, que contribuiu para esta pesquisa, fornecendo os subsídios iniciais.

À Paula Daudt, que tem me auxiliado no encontro do “norte”.

Aos meus colegas do mestrado: Abrahão Rohden, Amanda Gehrke, Aretusa Rodrigues, Christiane Krum, Cristina Vitorino, Josiane Gasperin, Patrícia Poyastro e Paulo Samuel.

Ao meu orientador, Prof. Miguel Aloysio Sattler, pelo apoio, disponibilidade e conhecimento transmitido.

À minha família, pelo carinho e atenção, em especial aos meus pais, Inára e Francisco; aos meus irmãos, Camila e Chico; e ao meu cunhado, Alberto.

Ao meu cachorro Duck, pela companhia diária.

## RESUMO

TUBELO, R. C. S. **Análise do Desempenho Térmico de Edificações Escolares: Estudo de Caso do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí e da Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

**Proposta:** A pesquisa analisa o desempenho térmico de duas edificações escolares distintas, o Centro de Educação Profissional do Vale do Caí e a Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico, localizados em municipalidades também distintas e compostos por tipologia arquitetônica e orientação solar similares. **Método:** Os dois casos estudados tiveram o seu desempenho analisado pelo método de medição *in loco*, com coleta horária das variáveis de temperatura e umidade relativa do ar, fazendo uso de *data loggers*. A amostra foi composta por uma sala de aula, em cada ambiente de ensino. **Objetivos:** Foram objetivos desta pesquisa: caracterizar os estudos de caso; calcular as propriedades térmicas dos fechamentos; apontar distinções no procedimento de coleta de dados; analisar o desempenho térmico das salas estudadas, considerando o período de medições e o período de ocupação; e comparar dados climáticos das municipalidades com os dados climáticos de Porto Alegre. As análises foram estruturadas por estações do ano, com análise de temperatura (incluindo atraso e amortecimento térmico) e umidade relativa do ar. Auxiliaram nas análises de dados, a metodologia de análise de *graus-hora* e a carta bioclimática proposta por *Givoni*. Foram realizadas análises considerando o período de medições e o período de ocupação das escolas. **Resultados:** Os resultados apontaram um desempenho mais satisfatório para o Centro de Educação Profissional do Vale do Caí, o que pode ser atribuído à inércia térmica e às propriedades térmicas dos fechamentos deste edifício, mesmo tendo apresentado oscilações maiores de temperatura e umidade relativa. A análise dos dados climáticos das municipalidades permitiu identificar algumas similaridades com os do município de Porto Alegre, embora a proximidade deste com massas d'água tenham demonstrado interferência considerável na amplitude térmica e na umidade relativa do ar.

*Palavras-chave: Desempenho térmico; Edificações escolares; Conforto térmico*

## ABSTRACT

TUBELO, R. C. S. **Análise do Desempenho Térmico de Edificações Escolares: Estudo de Caso do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí e da Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

**Proposal:** The research examines the thermal performance of two different school buildings, Vale do Caí Professional Education Center and Frei Pacífico Elementary School, located in different municipalities and also composed of similar architectural style and solar orientation. **Method:** The two cases studied had their performance evaluated by the *in situ* measurement method, with hourly collected hourly rate of the variables of temperature and relative humidity, using *data loggers*. The sample consisted of one classroom in each teaching environment. **Objectives:** The objectives of this research: were to characterize the case studies; to calculate the thermal properties of the elements; to point out distinctions in the procedure of collecting data; to analyze the thermal performance of the classrooms studied, considering the measurement period and the period of occupation; and comparing climatic data of municipalities to the climate data from Porto Alegre. The analysis was structured by seasons, with analysis of temperature (including thermal delay and thermal damping) and relative humidity, to help the data analysis methodology degree-hours and bioclimatic chart proposed by Givoni. There were analyses considering the measurement period and the period of school occupation. **Results:** The results showed a more satisfactory performance for Vale do Caí Professional Education Center, which can be attributed to thermal inertia and thermal properties of the closures of the building, though it had the highest swings in temperature and relative humidity. The analysis of climate data of the municipalities identified some similarities with that of the city of Porto Alegre, although the proximity of masses of water to the later, demonstrated considerable interference in the temperature and relative humidity ranges.

*Key-words: Thermal performance; School buildings; Thermal comfort.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: temperatura de conforto variando a atividade e as roupas. ....	30
Figura 2: amortecimento da temperatura.....	32
Figura 3: radiação incidente em fechamentos opacos e transparentes .....	37
Figura 4: carga térmica em edifícios de geometria e orientação distinta.....	38
Figura 5: zona de conforto.....	40
Figura 5: quadro comparativo dos estudos e pesquisas na área de conforto térmico.....	52
Figura 6: delineamento da pesquisa.....	54
Figura 7: (a) município de Feliz e sua localização no Estado do Rio Grande do Sul. (b) distância do Município de Feliz à Cidade de Porto Alegre. (c) localização do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí (CPVAC). ....	55
Figura 8: implantação do CPVAC.....	57
Figura 9: vista do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí (CPVAC).....	58
Figura 10: fachada norte .....	58
Figura 11: fachada sul.....	58
Figura 12: (a) corte da sala de aula (b) planta baixa da sala de aula - CPVAC .....	59
Figura 13: vistas da sala de aula - CPVAC.....	59
Figura 14: ilustração da transmitância térmica ( $U$ ), capacidade térmica ( $C_t$ ) e atraso térmico ( $\varphi$ ) dos fechamentos da sala de aula – CPVAC .....	62
Figura 15: (a) distrito de Itapuã e sua localização no Estado do Rio Grande do Sul. (b) distância do Distrito de Itapuã à Cidade de Porto Alegre. (c) localização da escola Frei Pacífico.....	64
Figura 16: implantação original da Escola Frei Pacífico.....	65
Figura 17: planta baixa do bloco das salas de aula – Frei Pacífico.....	66
Figura 18: vista da Escola Frei Pacífico.....	67
Figura 19: fachada norte .....	67
Figura 20: fachada sul.....	67
Figura 21: (a) corte da sala de aula (b) planta baixa da sala de aula – Frei Pacífico .....	68
Figura 22: vistas da sala de aula – Frei Pacífico.....	68
Figura 23: ilustração da transmitância térmica ( $U$ ), capacidade térmica ( $C_t$ ) e atraso térmico ( $\varphi$ ) dos fechamentos da sala de aula – Frei Pacífico.....	71

Figura 24: equipamentos <i>data loggers</i> ; (a) modelo <i>LogBox-RHT</i> (b) modelo <i>LogBox-RHT-LCD</i> .....	73
Figura 25: desempenho dos sensores; (a) umidade relativa (b) temperatura .....	74
Figura 26: máxima precisão; (a) umidade relativa (b) temperatura .....	74
Figura 27: condições de operação dos sensores.....	75
Figura 28: localização dos sensores (a) corte (b) planta baixa – CPVAC .....	76
Figura 29: localização dos sensores (a) corte (b) planta baixa – Frei Pacífico.....	77
Figura 30: análise da temperatura para sensores em alturas distintas – Frei Pacífico.....	78
Figura 31: análise da umidade relativa para sensores em alturas distintas – Frei Pacífico.....	79
Figura 32: valores mensais mínimos e máximos de temperatura, em Porto Alegre, Feliz (CPVAC) e Itapuã (Frei Pacífico) .....	84
Figura 33: valores mensais mínimos e máximos de umidade relativa, em Porto Alegre, Feliz (CPVAC) e Itapuã (Frei Pacífico) .....	84
Figura 34: comparativo das oscilações de temperatura para Porto Alegre e Itapuã (Frei Pacífico).....	85
Figura 35: comparativo das oscilações de temperatura para Porto Alegre e Feliz (CPVAC) ....	85
Figura 36: comparativo das oscilações de umidade relativa para Porto Alegre e Itapuã (Frei Pacífico).....	86
Figura 37: comparativo das oscilações de umidade relativa para Porto Alegre e Feliz (CPVAC) .....	86
Figura 38: perfil das temperaturas no período de verão - CPVAC .....	89
Figura 39: perfil das temperaturas durante a semana com a menor média das mínimas diárias – verão - CPVAC .....	90
Figura 40: perfil das temperaturas durante a semana com a maior média das máximas diárias – verão – CPVAC .....	91
Figura 41: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - verão – CPVAC .....	91
Figura 42: histograma das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - verão – CPVAC .....	93
Figura 43: carta psicrométrica dos sensores - verão - CPVAC .....	94
Figura 44: perfil das temperaturas no período de verão – Frei Pacífico.....	97
Figura 45: perfil das temperaturas durante a semana com a menor média das mínimas diárias – verão – Frei Pacífico.....	98

Figura 46: perfil das temperaturas durante a semana com a maior média das máximas diárias – verão – Frei Pacífico.....	99
Figura 47: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação – verão – Frei Pacífico .....	99
Figura 48: histograma das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação – verão – Frei Pacífico.....	101
Figura 49: carta psicrométrica dos sensores – verão – Frei Pacífico.....	102
Figura 50: perfil das temperaturas no período de outono – CPVAC .....	105
Figura 51: perfil das temperaturas durante a semana com a menor média das mínimas diárias – outono - CPVAC .....	106
Figura 52: perfil das temperaturas durante a semana com a maior média das máximas diárias – outono – CPVAC .....	106
Figura 53: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - outono – CPVAC.....	107
Figura 54: histograma das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - outono - CPVAC.....	109
Figura 55: cartas psicrométricas dos sensores – outono – CPVAC.....	110
Figura 56: perfil das temperaturas no período de outono – Frei Pacífico.....	113
Figura 57: perfil das temperaturas durante a semana com a menor média das mínimas diárias – outono - Frei Pacífico.....	114
Figura 58: perfil das temperaturas durante a semana com a maior média das máximas diárias – outono - Frei Pacífico.....	114
Figura 59: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - outono – Frei Pacífico .....	115
Figura 60: histograma das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - outono - Frei Pacífico .....	117
Figura 61: carta psicrométrica dos sensores – outono – Frei Pacífico.....	118
Figura 62: perfil das temperaturas no período de inverno – CPVAC.....	121
Figura 63: perfil das temperaturas durante a semana com a menor média das mínimas diárias - inverno - CPVAC .....	121
Figura 64: perfil das temperaturas durante a semana com a maior média das máximas diárias - inverno – CPVAC.....	122
Figura 65: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - inverno – CPVAC.....	123
Figura 66: histograma das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - inverno – CPVAC .....	125

Figura 67: carta psicrométrica dos sensores – inverno – CPVAC.....	126
Figura 68: perfil das temperaturas no período de inverno - Frei Pacífico.....	128
Figura 69: perfil das temperaturas durante a semana com a menor média das mínimas diárias - inverno - Frei Pacífico.....	129
Figura 70: perfil das temperaturas durante a semana com a segunda menor média das mínimas diárias - inverno - Frei Pacífico .....	130
Figura 71: perfil das temperaturas durante a semana com a maior média das máximas diárias - inverno - Frei Pacífico.....	130
Figura 72: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - inverno – Frei Pacífico .....	131
Figura 73: histograma das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - inverno – Frei Pacífico.....	133
Figura 74: carta psicrométrica dos sensores – inverno – Frei Pacífico .....	134
Figura 75: perfil das temperaturas no período de primavera - Frei Pacífico.....	137
Figura 76: perfil das temperaturas durante a semana com a menor média das mínimas diárias - primavera - Frei Pacífico.....	137
Figura 77: perfil das temperaturas durante a semana com a maior média das máximas diárias - primavera - Frei Pacífico.....	138
Figura 78: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - primavera – Frei Pacífico .....	139
Figura 79: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores interno e interno em período de ocupação a partir das aquisições totais - primavera – Frei Pacífico.....	140
Figura 80: histograma das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação – primavera – Frei Pacífico.....	141
Figura 81: cartas psicrométricas dos sensores – primavera – Frei Pacífico.....	142
Figura 82: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores interno e interno em período de ocupação - anual – Frei Pacífico.....	145
Figura 83: histograma de frequência das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação – anual – Frei Pacífico .....	147
Figura 84: carta psicrométrica dos sensores – anual – Frei Pacífico .....	148
Figura 85: comportamento da temperatura e umidade relativa em período contínuo, com e sem utilização da sala de aula – temperaturas uniformes. ....	151
Figura 86: comportamento da temperatura e umidade relativa em período de ocupação, com e sem utilização da sala de aula – temperaturas uniformes.....	152
Figura 87: comportamento da temperatura e umidade relativa em período contínuo, com e sem utilização da sala de aula – temperaturas elevadas.....	152

Figura 88: comportamento da temperatura e umidade relativa em período de ocupação, com e sem utilização da sala de aula - temperaturas elevadas. ....	153
Figura 89: comportamento da temperatura e umidade relativa em período contínuo, com e sem utilização da sala de aula – temperaturas baixas. ....	153
Figura 90: comportamento da temperatura e umidade relativa em período de ocupação, com e sem utilização da sala de aula - temperaturas baixas. ....	154
Figura 91: comportamento da temperatura e umidade relativa em período contínuo, com e sem utilização da sala de aula – por semana (22 de fevereiro a 7 de março).....	155

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: quadro comparativo dos estudos e pesquisas na área de conforto térmico.....	52
Tabela 2: esquadrias e área útil de ventilação - CPVAC .....	60
Tabela 3: volume de ar renovado – CPVAC .....	60
Tabela 4: transmitância térmica (U), capacidade térmica ( $C_t$ ) e atraso térmico ( $\varphi$ ) dos fechamentos da sala de aula – CPVAC.....	62
Tabela 5: transmitância térmica e atraso térmico admissíveis em norma e calculado para o $C_{pvac}$ .....	63
Tabela 6: volume de ar renovado – Frei Pacífico .....	69
Tabela 7: transmitância térmica (U), capacidade térmica ( $C_t$ ) e atraso térmico (horas) dos fechamentos da sala de aula – Frei Pacífico .....	71
Tabela 8: transmitância térmica e atraso térmico admissíveis em norma e calculado para a Frei Pacífico .....	72
Tabela 9: histórico da coleta de dados.....	80
Tabela 10: valores mínimos, médios e máximos comparativos de temperatura e umidade relativa, por estações do ano, para condições externas. ....	82
Tabela 11: valores mínimos, médios e máximos comparativos de temperatura e umidade relativa, mensais, para condições externas.....	83
Tabela 12: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração - verão - CPVAC .....	92
Tabela 13: relatório dos sensores - verão - CPVAC.....	95
Tabela 14: resumo do conforto térmico na sala de aula (CPVAC) – verão - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação .....	96
Tabela 15: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração – verão – Frei Pacífico .....	100
Tabela 16: relatório dos sensores – verão – Frei Pacífico.....	103
Tabela 17: resumo do conforto térmico na sala de aula (Frei Pacífico) – verão - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação .....	103
Tabela 18: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração – outono – CPVAC	108
Tabela 19: relatório dos sensores - outono – CPVAC .....	111

Tabela 20: resumo do conforto térmico na sala de aula (CPVAC) – outono - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação .....	111
Tabela 21: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração – outono – Frei Pacífico .....	116
Tabela 22: relatório dos sensores - outono – Frei Pacífico .....	119
Tabela 23: resumo do conforto térmico na sala de aula (Frei Pacífico) – outono - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação .....	119
Tabela 24: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração – inverno – CPVAC .....	124
Tabela 25: relatório dos sensores - inverno – CPVAC .....	127
Tabela 26: resumo do conforto térmico na sala de aula (CPVAC) – inverno - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação .....	127
Tabela 27: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração – inverno – Frei Pacífico .....	132
Tabela 28: relatório dos sensores - inverno - Frei Pacífico .....	135
Tabela 29: resumo do conforto térmico na sala de aula (Frei Pacífico) – inverno - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação .....	135
Tabela 30: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração – primavera – Frei Pacífico .....	140
Tabela 31: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração a partir das aquisições totais – primavera – Frei Pacífico .....	141
Tabela 32: relatório dos sensores - primavera - Frei Pacífico .....	143
Tabela 33: resumo do conforto térmico na sala de aula (Frei Pacífico) – primavera - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação .....	143
Tabela 34: valores mínimos, médios e máximos de temperatura, para condições internas e externas, monitoramento 2010 e monitoramento 2008, com dados baseados em Gemelli (2009) – Frei Pacífico .....	145
Tabela 35: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração – anual – Frei Pacífico .....	146
Tabela 36: relatório dos sensores – anual – Frei Pacífico .....	149
Tabela 37: resumo do conforto térmico na sala de aula (Frei Pacífico) – anual - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação .....	150

Tabela 38: valores mínimos, médios e máximos de temperatura e umidade relativa, por estações do ano, para condições internas e externas – CPVAC.....	156
Tabela 39: valores mínimos, médios e máximos de temperatura e umidade relativa, por estações do ano, para condições internas e externas – Frei Pacífico .....	156
Tabela 40: valores mínimos, médios e máximos de temperatura e umidade relativa, mensais, para condições internas e externas – CPVAC.....	156
Tabela 41: valores mínimos, médios e máximos de temperatura e umidade relativa, mensais, para condições internas e externas – Frei Pacífico .....	157
Tabela 42: quadro de resumo comparativo – dados gerais.....	158
Tabela 43: quadro de resumo comparativo – verão .....	160
Tabela 44: quadro de resumo comparativo – outono .....	163
Tabela 45: quadro de resumo comparativo – inverno .....	165
Tabela 46: resumo do conforto térmico nas salas de aula - percentuais de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação, nos períodos avaliados conjuntamente nas duas escolas .....	167

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: <i>amortecimento</i> $A = T_{ext} - T_{int}$ .....	32
Equação 2: <i>volume de ar renovado</i> $V_a = A_e \times N \times v$ .....	35
Equação 3: <i>graus-dia</i> $GD = \sum_{i=1}^{n.dias} (T_b - T_{med_i})$ .....	45
Equação 4: <i>graus-dia para refrigeração</i> $GD_{refr} = \sum_{i=1}^{n.dias} (T_{med_i} - T_b)$ .....	45
Equação 5: <i>graus-hora</i> $GH = \sum_{i=1}^{n.horas} (T_b - T_{h_i})$ .....	45
Equação 6: <i>área útil de ventilação</i> $= (1 - \cos\beta) \times \text{área de ventilação}$ .....	60

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

CEFET: Centro Federal de Educação Tecnológica

CPVAC: Centro de Educação Profissional do Vale do Caí

FEPVARC: Fundação de Educação Profissional do Vale do Rio Caí

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

ISO: International Organization for Standardization

LABEEE: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

PPGEC: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

PPGEP: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

PPGET: Programa de Pós-Graduação em Tecnologia

UFG: Universidade Federal de Goiás

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina

UR: Umidade Relativa

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	23
1.2 CONTEXTO.....	24
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA.....	25
1.4 OBJETIVOS.....	27
1.4.1 Objetivo Geral.....	27
1.4.2 Objetivos Intermediários .....	27
1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	28
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>29</b>
2.1 CONFORTO TÉRMICO .....	29
2.1.1 Variáveis Humanas.....	29
2.1.2 Variáveis Ambientais.....	30
2.1.3 Propriedades Térmicas .....	31
2.1.4 Trocas Térmicas .....	33
2.1.5 Índices e Escalas de Conforto .....	38
2.1.6 Aclimação .....	41
2.2 CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES .....	42
2.3 METODOLOGIAS DE TRATAMENTO DE DADOS CLIMATICOS.....	44
2.3.1 Temperatura de Projeto .....	44
2.3.2 Grau-Dia e Grau-Hora.....	45
2.3.3 Ano Climático de Referência .....	46
2.3.4 Dias Típicos .....	46
2.4 DADOS CLIMATICOS PARA PORTO ALEGRE .....	47
2.5 ESTUDOS E PUBLICAÇÕES NA ÁREA DE CONFORTO TÉRMICO .....	50

<b>3 METODOLOGIA DA PESQUISA .....</b>	<b>53</b>
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	53
3.2 ESTUDOS DE CASO .....	55
3.2.1 Centro de Educação Profissional do Vale do Caí .....	55
3.2.1.1 Caracterização do Edifício e do Projeto Arquitetônico.....	55
3.2.1.2. Caracterização dos Materiais e Técnicas Construtivas .....	60
3.2.1.3. Caracterização das Propriedades Térmicas.....	61
3.2.1.4 Caracterização da Ocupação.....	63
3.2.2 Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico .....	64
3.2.2.1 Caracterização do Edifício e do Projeto Arquitetônico.....	64
3.2.2.2 Caracterização dos Materiais e Técnicas Construtivas .....	69
3.2.2.3 Caracterização das Propriedades Térmicas.....	70
3.2.2.4 Caracterização da Ocupação.....	72
3.3 COLETA DE DADOS.....	73
3.3.1 Medições .....	73
3.3.1.1 Instrumentação .....	73
3.3.1.2 Amostra .....	75
3.4 DADOS CLIMÁTICOS COMPARATIVOS: PORTO ALEGRE, FELIZ E ITAPUÃ .....	81
<b>4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>88</b>
4.1 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO NO VERÃO .....	88
4.1.1 Centro de Educação Profissional do Vale do Caí.....	88
4.1.1.1 Temperatura do ar .....	88
4.1.1.2 Umidade relativa do ar .....	91
4.1.1.3 Graus-hora.....	92
4.1.1.4 Carta Bioclimática .....	94
4.1.1.5 Considerações sobre o conforto térmico .....	96
4.1.2 Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico .....	96

4.1.2.1 Temperatura do ar .....	96
4.1.2.2 Umidade relativa do ar .....	99
4.1.2.3 Graus-hora.....	100
4.1.2.4 Carta Bioclimática .....	101
4.1.2.5 Considerações sobre o conforto térmico .....	103
4.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO NO OUTONO .....	104
4.2.1. Centro de Educação Profissional do Vale do Caí.....	104
4.2.1.1 Temperatura do ar .....	104
4.2.1.2 Umidade relativa do ar .....	107
4.2.1.3 Graus-hora.....	107
4.2.1.4 Carta Bioclimática .....	109
4.2.1.5 Considerações sobre o conforto térmico .....	111
4.2.2 Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico .....	112
4.2.2.1 Temperatura do ar .....	112
4.2.2.2 Umidade relativa do ar .....	115
4.2.2.3 Graus-hora.....	116
4.2.2.4 Carta Bioclimática .....	118
4.2.2.5 Considerações sobre o conforto térmico .....	119
4.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO NO INVERNO.....	120
4.3.1 Centro de Educação Profissional do Vale do Caí.....	120
4.3.1.1 Temperatura do ar .....	120
4.3.1.2 Umidade relativa do ar .....	123
4.3.1.3 Graus-hora.....	124
4.3.1.4 Carta Bioclimática .....	125
4.3.1.5 Considerações sobre o conforto térmico .....	127
4.3.2 Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico .....	128
4.3.2.1 Temperatura do ar .....	128
4.3.2.2 Umidade relativa do ar .....	131

4.3.2.3 Graus-hora.....	132
4.3.2.4 Carta Bioclimática .....	134
4.3.2.5 Considerações sobre o conforto térmico .....	135
4.4 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO NA PRIMAVERA .....	136
4.4.1 Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico .....	136
4.4.1.1 Temperatura do ar .....	136
4.4.1.2 Umidade relativa do ar .....	138
4.4.1.3 Graus-hora.....	140
4.4.1.4 Carta Bioclimática .....	142
4.4.1.5 Considerações sobre o conforto térmico .....	143
4.5 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO ANUAL .....	144
4.5.1 Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico .....	144
4.5.1.1 Temperatura do ar .....	144
4.5.1.2 Umidade relativa do ar .....	145
4.5.1.3 Graus-hora.....	146
4.5.1.4 Carta Bioclimática .....	148
4.5.1.5 Considerações sobre o conforto térmico .....	150
4.6 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO EM PERÍODO COM E SEM OCUPAÇÃO PELOS USUÁRIOS .....	150
4.7 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	165
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>169</b>
5.1 SUGESTÕES PARA A MELHORIA DAS EDIFICAÇÕES .....	172
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	173
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>175</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A práxis do projeto, atribuição do profissional de arquitetura, relaciona-se com o atendimento dos requisitos dos usuários. Estes requisitos devem ser satisfeitos em diversos aspectos: estéticos, funcionais, estruturais e ambientais. O atendimento dos requisitos ambientais envolve o conforto lumínico, acústico e térmico.

O conforto térmico no ambiente construído é determinado por uma série de fatores: materiais empregados nas edificações (propriedades físicas e espessuras dos materiais), tipo de ocupação e atividade desenvolvida na edificação, relação do edifício com o sítio (orientação solar, direção dos ventos) e o clima atuante (temperatura do ar, umidade relativa do ar, ondas de calor e de frio).

Os materiais empregados e as propriedades térmicas destes influenciam no desempenho térmico do edifício. A inércia térmica, por exemplo, reduz extremos térmicos no interior do edifício (amortecimento térmico) e prolonga o tempo para que as temperaturas externas sejam sentidas no interior da edificação (atraso térmico). Segundo Papst (1999), o uso da inércia térmica em edificações, além de amortecer os picos de temperatura externa, proporciona um atraso no pico máximo e mínimo na temperatura interna.

A vantagem do conhecimento do tipo de ocupação e atividade desenvolvida na edificação é a manipulação dos condicionantes em benefício do desempenho térmico mais satisfatório na edificação.

Para edifícios escolares, objeto deste estudo, o período e o tipo de ocupação são importantes. A partir destes, pode-se manipular para que os extremos de temperatura registrados, externamente, sejam sentidos, no interior do edifício, em período posterior a ocupação do mesmo, como à noite, por exemplo. Assim, o edifício pode ser projetado de modo que o desempenho mais insatisfatório da edificação ocorra fora do período de utilização.

Edifícios de desempenho térmico insatisfatório causam uma série de inconvenientes aos seus ocupantes. Labaki e Bueno-Bartholomei (2001) ressaltam as sensações decorrentes da ação destes ambientes no bem-estar do indivíduo:

Situações de desconforto, causadas, seja por temperaturas extremas, falta de ventilação adequada, umidade excessiva combinada com temperaturas elevadas, radiação térmica devido a superfícies muito aquecidas, podem ser bastante

prejudiciais, causando sonolência, alteração nos batimentos cardíacos, aumento da sudação. Psicologicamente, tem também seus efeitos, provocando apatia e desinteresse pelo trabalho.

A interação do edifício (ambiente construído) com o sítio (meio ambiente) pode propiciar respostas mais comprometidas do desempenho térmico do ambiente construído, a partir das análises das variáveis de orientação solar, direção dos ventos, geometria do edifício e etc.

Ainda, o entendimento do clima é de suma importância para o desempenho térmico dos edifícios. As informações referentes ao clima do local são as ferramentas do projetista, na relação do ambiente construído com meio ambiente. Dessa forma, é tarefa do projetista, analisar as informações climáticas e apresentá-las de forma que permita identificar aspectos que são benéficos e prejudiciais para os futuros ocupantes do edifício (Koenigsberger *et al*, 1977).

No Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/NORIE), na Linha de Pesquisa em Conforto do Ambiente Construído, pesquisas com a temática do desempenho térmico têm sido abordadas (MORELLO, 2005; GRIGOLETTI, 2007; GEMELLI, 2009), em decorrência da importância do tema para o ambiente construído.

A partir da participação do NORIE em Anteprojeto de edificações escolares, estes locais, agora, são submetidos à análise pós-ocupação, por alunos do Programa de Pós-Graduação, com vistas à análise de seu desempenho ambiental.

O presente estudo analisa o desempenho térmico de duas edificações escolares: a primeira delas, o Centro de Educação Profissional do Vale do Caí, no Município de Feliz/RS; a segunda, a Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico, no Município de Viamão (Distrito de Itapuã). Ambas as edificações foram projetadas de acordo com princípios de sustentabilidade, buscando adequar às condições de condicionamento passivo e eficiência energética e, detém uma relação estreita projeto, embora utilizem tecnologias construtivas diferenciadas. As duas edificações estarão expostas a condições externas semelhantes, durante o mesmo período.

## 1.2 CONTEXTO

A vasta expansão técnico-construtiva e a abundância de combustíveis fósseis modificaram a concepção de arquitetura no pós-guerra. A estética arquitetônica deste período preocupava-se com os desafios estruturais propostos pelos novos materiais, sem preocupação com o esgotamento dos recursos não-renováveis. Foram surgindo verdadeiros colossos

arquitetônicos, submetidos a uma intensa carga energética e econômica (Lamberts *et al*, 1997).

A necessidade de ostentar o progresso, o poder econômico, a abundância de tecnologia, fez com que, sobretudo nos tempos contemporâneos, em muito se desconsiderasse a questão ambiental na arquitetura (Corbella e Yannas, 2003). Isto propiciou a ausência de edificações que atendessem às condições de condicionamento passivo, culminando em espaços internos termicamente desconfortáveis. Sistemas de iluminação e de climatização artificial passaram a ser largamente utilizados, permitindo ao projetista, posição bastante cômoda perante os problemas de adequação do edifício ao clima (Lamberts *et al*, 1997).

Esta nova concepção passa a ser posta em dúvida a partir de 1973, com a primeira crise do petróleo. A arquitetura passa a ser repensada como articuladora na redução dos gastos energéticos nos edifícios; a resolução das questões de interação do edifício com o clima passa a ser necessária e, adquire nova concepção, sendo denominada de arquitetura bioclimática. A Arquitetura Bioclimática utiliza a tecnologia baseada na correta aplicação dos elementos arquitetônicos, com o objetivo de fornecer ao ambiente construído, um alto grau de conforto higrotérmico, com baixo consumo de energia (Goulart, Lamberts e Firmino, 1998).

Nos dias atuais, reforçada pela crise energética brasileira, ocorrida nos últimos anos, a temática do desenvolvimento sustentável tem sido recorrente. Projetar edifícios segundo princípios sustentáveis, sob a égide de uma visão holística e de preservação ambiental, deve ser norteador. A Arquitetura Sustentável é a continuidade mais natural da Bioclimática, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-la parte de um conjunto maior (Corbella e Yannas, 2003).

Neste contexto, os projetistas são responsáveis por nortear toda a vida útil da edificação, através das escolhas dos condicionantes de projeto: orientação solar adequada; utilização de dispositivos de controle solar; ventilação qualificada (ventilação cruzada, ventilação higiênica e ventilação convectiva), buscando renovação de ar e remoção de calor do ambiente; posição correta e dimensão das aberturas; utilização da inércia térmica e da resistência dos materiais, quando conveniente.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A análise pós-ocupação do ambiente construído é necessária para o entendimento das falhas ocorridas no projeto dos edifícios. Em adição, o conhecimento das dinâmicas

implícitas na interação do edifício com o meio ambiente é importante para a identificação das melhorias a serem realizadas no ambiente construído.

A satisfação dos usuários no ambiente construído tem estreita relação com o desempenho das edificações. Assim, os estudos de avaliação de desempenho subsidiam o atendimento destes requisitos e são referenciais para projetos futuros. Pietrobon, Lamberts e Pereira (2001), relatam a linearidade entre a aceitabilidade de edificação e seu desempenho:

A aceitabilidade da edificação, em termos tecnológicos, depende do seu desempenho. A avaliação do desempenho de uma edificação é uma abordagem complexa, onde interagem diversos fatores. Consiste em prever o comportamento potencial do edifício, seus elementos e instalações, quando submetidos a condições normais de exposição e avaliar, se tal comportamento satisfaz as exigências do usuário.

Akutsu (1988) define a avaliação de desempenho higrotérmico de uma edificação como a verificação se as condições internas de um dado ambiente satisfazem ou não um conjunto de requisitos e critérios, definidos em função das necessidades do usuário, no que diz respeito ao seu conforto térmico.

Segundo Grigoletti (2007) as avaliações de desempenho podem ser divididas em três grupos: avaliações através de medições *in loco*; avaliações através de modelos físicos (simulações computacionais); e avaliações a partir da percepção dos usuários. Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005c), a avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser realizada tanto na fase de projeto, quanto após a construção. Após a construção, a avaliação pode ser feita através de medições *in-loco* de variáveis representativas do desempenho.

Em edificações escolares, devido à sistemática interferência do clima no ambiente construído e, por conseqüência, nas atividades e no comportamento de seus ocupantes, é importante que as edificações sejam submetidas à análise do seu desempenho. Segundo Nogueira e Nogueira (2003), se o conforto térmico e o meio ambiente interferem no aproveitamento didático dos alunos em sala de aula, tornar-se-á importante, avaliar o ambiente construído.

Em relação ao ambiente climático, há necessidade de estudos sobre a adequação das zonas de conforto à realidade climática de cada região, visando à construção de edificações escolares termicamente confortáveis. Segundo Grigoletti (2007), devido às diferenças relativas à escala regional, é importante fazer uma análise mais condizente com o clima local, embora isso demande um esforço em pesquisa bastante grande, atingindo-se uma solução mais adequada para cada local. Rivero (1985) ressalta a afirmação, explanando que as diferenças sutis dos microclimas podem auxiliar a instrumentalização mais correta dos

profissionais de arquitetura e, reafirma que, na ausência de tais estudos corre-se o risco de ter que se importarem tecnologias e soluções inadequadas à realidade do local e, portanto, antieconômicas.

Assim, é proposta a seguinte pergunta de pesquisa: Qual a resposta do desempenho térmico dos estudos de caso, que, detém tipologias semelhantes e técnicas construtivas diferenciadas?

Para responder a essa pergunta principal, há as seguintes perguntas intermediárias: (i) Qual a resposta das variáveis atraso e amortecimento térmico, comparativamente, na análise de desempenho térmico, dos estudos de caso analisados?; (ii) Há distinção significativa entre o desempenho térmico da edificação e o desempenho térmico da edificação em período de ocupação, para estes estudos de caso?; (iii) Que diferenças existem entre o desempenho térmico das edificações em período com e sem a ocupação pelos usuários?; (iv) há alterações nos valores numéricos das variáveis (temperatura e umidade relativa), de acordo com a posição e altura dos instrumentos de medição utilizados.

É enunciada também outra questão secundária da pesquisa, relativa ao ambiente climático: (v) Existem diferenças significativas entre o clima da municipalidade de Feliz e o da municipalidade de Viamão, comparativamente ao de Porto Alegre?

## 1.4 OBJETIVOS

A partir da questão de pesquisa exposta acima, são propostos os seguintes objetivos correspondentes para a presente pesquisa.

### 1.4.1 Objetivo Geral

Analisar o desempenho térmico do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí e o da Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico.

### 1.4.2 Objetivos Intermediários

- a) Descrever e analisar as estratégias de projeto dos Estudos de Caso;
- b) Apresentar as propriedades térmicas dos fechamentos das salas analisadas (transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico);

- c) Apontar eventuais diferenciações entre o desempenho térmico da edificação e o desempenho térmico da edificação em período de ocupação;
- d) Apontar distinções entre o desempenho térmico das edificações em período com e sem ocupação pelos usuários;
- e) Verificar eventuais alterações nos valores numéricos das variáveis (temperatura e umidade relativa), associadas à posição e altura dos instrumentos de medição;
- f) Disponibilizar informações sobre os dados meteorológicos coletados junto aos edifícios analisados, nas municipalidades de Feliz e de Viamão, como contribuição a estudos futuros, tendo por base os períodos de avaliação.

## 1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

Esta dissertação é composta por cinco capítulos estabelecidos em seqüência lógica para o entendimento da mesma. O primeiro capítulo introduz o tema abordado, enfocando o assunto proposto; é estruturado em justificativa, contextualização, problema de pesquisa, objetivos e delimitação da pesquisa.

O segundo capítulo é composto pela revisão bibliográfica, enumerando os aspectos imprescindíveis à compreensão do tema abordado. Descreve a abordagem geral do conforto térmico, com suas variáveis e parâmetros de conforto. Mais adiante, aponta as distinções do conforto térmico quando associado a edificações escolares, foco desta pesquisa. Fornece ainda, subsídios para tratamento e análise dos dados climáticos coletados, seguidos pela disponibilização de dados e referenciais climáticos para a cidade de Porto Alegre. Como último enfoque reúne alguns estudos e publicações em conforto térmico.

O terceiro capítulo descreve a metodologia de pesquisa, relacionando o delineamento da pesquisa, a caracterização dos estudos de caso, os procedimentos de coleta de dados, os instrumentos de avaliação e a definição da amostra.

O quarto capítulo reúne a análise e apresentação dos resultados, a partir da coleta de dados.

Por fim, no quinto capítulo são apresentadas as considerações finais, melhorias que possam ser realizadas nas edificações e recomendações para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica está estruturada em quatro partes necessárias à compreensão das análises desta dissertação. Na primeira parte do capítulo - *conforto térmico* - são descritos os conceitos de conforto térmico e as variáveis que intervêm no desempenho térmico do ambiente construído; na segunda parte - *conforto térmico em edificações escolares* - são enumeradas características específicas que detêm os ambientes de ensino; na terceira parte - *metodologia de tratamento de dados climáticos* - uma breve caracterização das metodologias que tratam os dados climáticos e subsidiam a formatação para uso do projetista; na quarta parte - *dados climáticos para Porto Alegre* – fornece substrato para posterior comparação com o clima dos estudos de caso; e, por fim - *estudos e pesquisas na área de conforto térmico* - com o objetivo de reunir um pequeno número de publicações desta temática, distinguindo os procedimentos utilizados nas pesquisas.

### 2.1 CONFORTO TÉRMICO

Conforto térmico de um ambiente é a variedade das condições climáticas consideradas confortáveis e aceitáveis dentro dos edifícios (Givoni, 1997).

Para melhor entendimento do conforto térmico deve-se ressaltar que o mesmo pode ser definido por variáveis humanas e por variáveis ambientais. As variáveis humanas correspondem à satisfação dos usuários à condição térmica do ambiente de exposição. As variáveis ambientais correspondem às condições internas do ambiente, como temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade relativa do ar e velocidade do ar.

Existem, ainda, relações estabelecidas através das propriedades térmicas dos materiais, entre o exterior e interior da edificação e seu envelope, que ocorrem por meio de trocas térmicas e, que, interferem nas condições de desempenho térmico da edificação.

#### 2.1.1 Variáveis Humanas

As variáveis humanas determinam a necessidade de conforto dos usuários. São definidas pela taxa metabólica e pelo índice de resistência térmica das vestimentas.

A *taxa metabólica (TM)* é a taxa de produção de energia do corpo (ABNT, 2005a). É função da intensidade da atividade física desenvolvida pelo corpo humano. A unidade adotada é o  $W/m^2$  ou o *met*<sup>1</sup>.

O *índice de resistência térmica de vestimentas ( $I_r$ )* é a resistência térmica da vestimenta à troca de calor sensível por condução, convecção e radiação entre a pele e a superfície externa da roupa (ABNT, 2005a). A unidade adotada é o  $clo^2$ . A unidade *clo* corresponde a um traje padrão masculino, composto por cueca, calça e paletó, camisa mangas compridas, gravata, meias e sapatos<sup>3</sup>.

A Figura 1 estabelece a relação entre as duas variáveis (taxa metabólica e índice de resistência térmica de vestimentas)<sup>4</sup> e a temperatura de conforto térmico; considera-se a umidade relativa de 60%, sem movimento do ar, variando a atividade (*W*) e a roupa (*clo*).

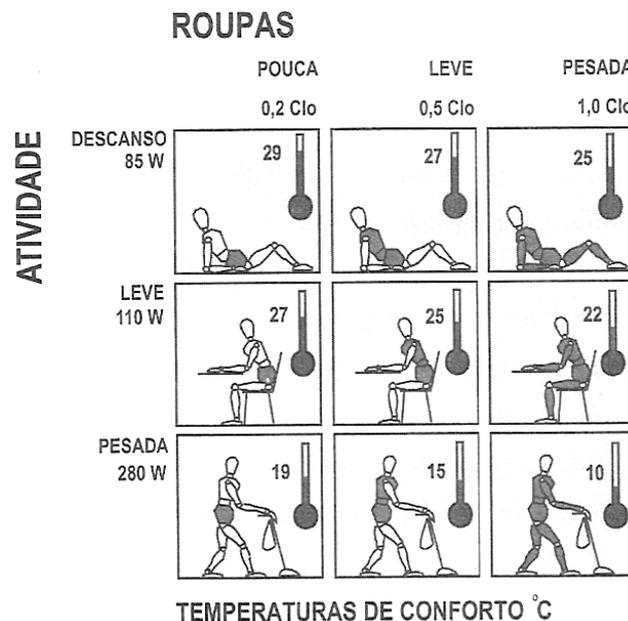


Figura 1: temperatura de conforto variando a atividade e as roupas. Fonte: Corbella e Yannas, 2003.

### 2.1.2 Variáveis Ambientais

Abaixo, são conceituadas as grandezas que intervêm no conforto térmico no interior das edificações. São elas: temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade relativa do ar e velocidade do ar.

<sup>1</sup> 1 (um) *met* = 58  $W/m^2$

<sup>2</sup> 1(um) *clo* = 0,155  $m^2K/W$  (Olgay, 1998).

<sup>3</sup> Corbella e Yanas, 2003, p. 271.

<sup>4</sup> Na figura, taxa metabólica é expresso como atividade e índice de resistência térmica de vestimentas como roupas.

A *temperatura do ar* ( $t$ ) representa a temperatura do meio fluido ar e pode ser medida com um termômetro de mercúrio ou termógrafo. Esta variável influencia as trocas térmicas por convecção (Grigoletti, 2007). A unidade adotada é graus Celsius (°C).

A *temperatura média radiante* ( $T_m$ ) é a temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual a troca de calor do corpo humano por radiação é igual à troca de calor por radiação no ambiente real não uniforme (ABNT, 2005a). A unidade adotada é graus Celsius (°C).

A *umidade relativa do ar* ( $UR$ ) indica a relação existente entre a massa de vapor d'água contida em uma determinada massa de ar e a quantidade máxima que esta quantidade de ar seco suporta de vapor d'água sem que aconteça o fenômeno da condensação (Grigoletti, 2007). A ABNT (2005a) caracteriza a umidade relativa do ar como o quociente da umidade absoluta do ar, pela umidade absoluta do ar saturado, para a mesma temperatura e pressão atmosférica. A umidade relativa é expressa em percentagem (%), ou seja, é uma variável de grandeza adimensional.

A *umidade absoluta* ( $UA$ ) é a quantidade de água que contém o ar do ambiente e se expressa em gramas de água por quilograma de ar seco (Corbella e Yannas, 2003).

A *velocidade do ar* ( $v$ ) se caracteriza como o movimento do ar de zonas de alta pressão para zonas de baixa pressão, definida em m/s.

### 2.1.3 Propriedades Térmicas

As propriedades térmicas dos materiais (empregados nos fechamentos) são: resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico, amortecimento térmico, fator de ganho de calor solar, absorvância, refletância, emissividade, condutividade térmica e etc. Essas propriedades relacionam-se com as trocas térmicas que ocorrem entre o envelope da edificação, o meio exterior e o interior. Os materiais utilizados na construção de um prédio regulam seu desempenho térmico e, por conseguinte, influenciarão no conforto térmico de seus usuários (Corbella e Yannas, 2003).

Os conceitos adotados estão descritos conforme a *Norma Brasileira de Desempenho Térmico NBR 15220* (ABNT, 2005a), extraídos da *Parte 1: definições, símbolos e unidades*.

A *Resistência térmica total* ( $R_t$ ) é o somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes as camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa. (ABNT, 2005a).

A *Resistência superficial interna* ( $R_{si}$ ) é a resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície interna de um componente, que transfere calor por radiação e/ou convecção

(ABNT, 2005a). E a *Resistência superficial externa* ( $R_{se}$ ) refere-se à resistência térmica da camada de ar da superfície externa de um componente.

Por sua vez, a *Transmitância Térmica* ( $U$ ) é o inverso da resistência térmica total. O cálculo da transmitância térmica permite avaliar o desempenho térmico de um fechamento frente à transmissão de calor.

A *Capacidade Térmica* ( $C$ ) é a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema (ABNT, 2005a).

O *Atraso Térmico* ( $\phi$ ) é o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo, submetido a um regime periódico de transmissão de calor (ABNT, 2005a). Segundo Rivero (1985), qualquer modificação ou diferença térmica que se produz em uma das superfícies do fechamento, ou no seu meio imediato, não é notada instantaneamente na outra face. Comprova-se assim um retardo térmico<sup>5</sup> que é medido em unidade de tempo.

O *Coefficiente de amortecimento* ( $\mu$ ) é a relação entre a amplitude da onda térmica superficial interna e a amplitude da onda térmica externa (Rivero, 1986). Essa capacidade de diminuir a amplitude das variações térmicas externas é chamada de amortecimento térmico (Rivero, 1986).

O amortecimento pode ser expresso pela Equação 1 e pela Figura 2, no qual consiste na diferença de temperatura do ar exterior e do ar interior:

$$A = T_{ext} - T_{int} \quad (\text{Eq. 1})$$

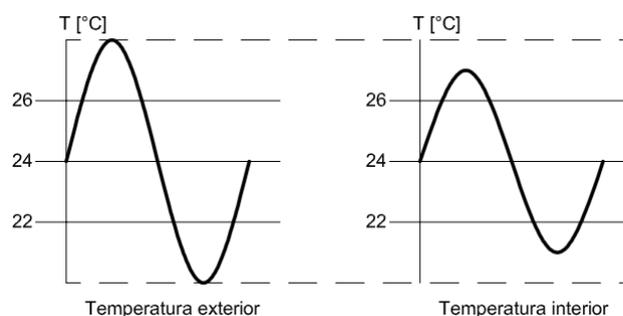


Figura 2: amortecimento da temperatura. Fonte: baseado em Corbella e Yannas, 2003.

A propriedade de *atraso térmico* e *amortecimento térmico* estão associados à inércia térmica proporcionada pela envolvente construtiva. A alta inércia térmica é desejada em locais onde a amplitude térmica, entre o período diurno e noturno, é muito distinta. A inércia térmica é capacidade dos fechamentos e da própria edificação, em armazenar e liberar calor,

<sup>5</sup> Rivero (1985) utiliza a denominação retardo térmico, para o termo atraso térmico.

alterando os horários em que ocorrem as temperaturas máximas e mínimas do ar interno da edificação e, amortecendo estes extremos (Rivero, 1985).

*Fator de Ganho de Calor Solar ( $FS_0$  e  $FS_1$ )*, segundo a ABNT (2005a), é descrito para a situação de fechamento opaco e transparente: para um fechamento opaco, é o quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo; para fechamentos transparentes refere-se ao quociente da taxa de radiação solar diretamente transmitida através de um componente transparente ou translúcido, sob determinado ângulo de incidência, mais a parcela absorvida e, posteriormente, retransmitida para o interior, pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo.

Para Lamberts, Dutra e Pereira (1997) fator solar de uma abertura (fechamento transparente) pode ser entendido como a razão entre a quantidade de energia solar que atravessa a janela pelo que nela coincide.

A *absortância* ( $\alpha$ ) é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (ABNT, 2005a). Segundo Santos, Dornelles e Souza (2010), as absortâncias do envelope construtivo estão associadas ao impacto da radiação solar na edificação, pois indicam qual fração da energia solar que chega ao edifício é realmente absorvida por seu envelope, afetando seu ganho de calor e as temperaturas internas, e qual fração é refletida, sem nenhum efeito sobre as condições térmicas da edificação.

A *refletância* ( $\rho$ ) é o quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (ABNT, 2005a).

A *emissividade*<sup>6</sup> ( $\varepsilon$ ) é o quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura (ABNT, 2005a).

A *condutividade térmica* ( $\lambda$ ) é a propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 (um) W/m<sup>2</sup>, quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro (ABNT, 2005a).

#### 2.1.4 Trocas Térmicas

As trocas de calor no interior de uma edificação podem ocorrer através dos ganhos internos, com a presença de pessoas, iluminação artificial e outros equipamentos internos; e através das trocas térmicas pelas vedações deste ambiente (Adriazola, 2002).

---

<sup>6</sup> Emitância e emissividade são sinônimos.

As pessoas colaboram para o incremento do calor sensível nos interior dos ambientes, através da geração de calor e umidade. Segundo ASHRAE (1997, p. 28.8 *apud* BROWN E DEKAY, 2004, p. 62) o ganho total de calor sensível<sup>7</sup> das pessoas é estimado por meio da multiplicação da densidade de ocupação da edificação pela taxa de ganho térmico por pessoa.

A iluminação artificial e os equipamentos agregam, ainda, calor ao ambiente interno, como subprodutos inevitáveis das funções a qual se destinam. No caso da iluminação, o incremento na taxa de calor pode ser variável por meio do nível de iluminamento desejado e da eficiência da fonte de calor.

A movimentação do ar atua sistematicamente no incremento ou na redução dos ganhos térmicos no interior do edifício. A movimentação do ar ocorre em função da diferença entre a temperatura do ar no exterior e do ar no interior que, a partir disto, num fluxo da zona de maior pressão para a de menor pressão, ocorre um deslocamento da massa de ar de um ponto para outro. Podem ocorrer através das aberturas, denominada de ventilação, ou através das frestas, denominada de infiltração.

A *ventilação* ou *taxa de ventilação* ( $v_{ar}$ ) é vazão de ar exterior que circula por um ambiente através de aberturas intencionais (ABNT, 2005a). E a *infiltração* ou *taxa de infiltração* ( $v_i$ ) é definida como a vazão de ar exterior que circula por um ambiente através de aberturas não intencionais (ABNT, 2005a). As infiltrações de ar se produzem pelas juntas e interstícios das portas e janelas do edifício independente da vontade do usuário (Rivero,1985).

No projeto da edificação é importante atender os períodos climáticos atuantes; definir o tipo de ventilação necessária; a posição, orientação e estanqueidade das aberturas. Assim, tem-se:

- a) Em condições de frio, no inverno, a ventilação higiênica deve ter um caráter permanente, sendo satisfeita a qualquer hora e época do ano na edificação. Devem-se evitar infiltrações de ar exageradas, que contribuem para o mau desempenho da edificação, atuando na redução da temperatura no interior do ambiente. As infiltrações dependem do comprimento total das juntas, das imperfeições dos contatos entre as partes móveis e as fixas das aberturas;
- b) Em condições de calor, no verão, a ventilação de verão deve atender aspectos de redução térmica no interior dos ambientes. Deve-se evitar ganhos térmicos excessivos no verão em decorrência da radiação solar.

---

<sup>7</sup> Calor sensível é o calor resultante de uma mudança de temperatura do ar, em contraste com o calor latente. Calor latente é uma mudança na quantidade de calor que ocorre sem que haja uma mudança correspondente na temperatura de bulbo seco, geralmente acompanhada de uma mudança no estado físico. Brown e Dekay (2004, p. 366).

As aberturas devem ser projetadas de modo que ocorram taxa de renovação do ar em nível adequado. Entende-se por *taxa de renovação do ar*, o número de trocas de ar de um ambiente por unidade de tempo (ABNT, 2005a). A unidade adotada é *renovações/h*.

O tamanho da área de ventilação, ou seja, o vão de entrada e saída de ar e a velocidade do ar incidente sobre determinada esquadria, define o volume de ar renovado e a velocidade do ar no ambiente (a velocidade do ar no ambiente é determinada pelo vão de saída). A Equação 2 descreve o cálculo do volume de ar renovado, onde:  $V_a$  ( $m^3/h$ ) é o volume ar renovado;  $A_e$  ( $m^2$ ) é a área de entrada do ar;  $A_s$  ( $m^2$ ) é a área de saída do ar;  $N$  depende da relação  $A_s/A_e$ ;  $v$  ( $km/h$ ) é velocidade inicial do ar.

$$V_a = A_e \cdot N \cdot v \quad (\text{Eq. 2})$$

Em resumo, as diferenças de temperatura entre o interior e o exterior de um edifício, norteiam as ocorrências que se processam entre estes meios. Estas ocorrências, denominadas trocas térmicas são definidas como fluxo de energia do meio de maior temperatura para o meio de menor temperatura. As trocas térmicas ocorrem por condução, convecção, radiação e evaporação (no corpo humano) e, são descritas abaixo:

A *condução* é determinada pela diferença de temperatura entre a superfície do corpo e o objeto com o qual este está em contato. Haverá troca de calor por condução somente se houver contato entre as moléculas ou partículas dos corpos envolvidos.

A *convecção*, segundo Brown e Dekay (2004, p. 367), é o calor transferido entre uma superfície e um fluido adjacente (geralmente ar ou água) pela circulação daquele fluido e induzido por um diferencial de temperatura. Na convecção, as variáveis de velocidade do ar e a temperatura do ar potencializam as trocas térmicas.

A transmissão de calor, por *radiação*, ocorre quando dois ou mais corpos, de diferentes temperaturas e sem contato entre si, trocam calor via ondas eletromagnéticas através de um meio transparente ou não absorvente às ondas de calor. Na transmissão de calor por radiação, parte do calor do corpo se converte em energia radiante que chega até o outro corpo, onde é absorvida e, novamente se transforma em calor. A quantidade de calor transmitida dependerá das propriedades das superfícies envolvidas.

Na *evaporação*, que ocorre no corpo humano, este perde calor de duas maneiras: através do processo de respiração e da transpiração. A umidade do ar interfere de forma sistemática na taxa de evaporação, de forma que quanto mais seco o ar (menos saturado), mais facilitadas serão as perdas por evaporação.

Quando as trocas térmicas (condução, convecção e radiação) se dão a partir do ambiente construído, através do envelope da edificação com o ambiente circundante, pode ocorrer de duas maneiras: por meio opaco ou por meio transparente.

As trocas térmicas entre superfícies opacas e transparentes são regidas pelas propriedades destas superfícies e materiais (citadas anteriormente) e se comportam distintamente. Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997) a principal diferença entre os dois é justamente sua capacidade (transparentes) ou incapacidade (opacos) de transmitir a radiação solar para o ambiente interno.

Na radiação incidente sobre o fechamento opaco parte da radiação incidente na superfície é refletida, parte é absorvida de tal forma que se estabeleça a relação:  $\alpha + \rho = 1$ , onde ( $\alpha$ ) é *absortância* e ( $\rho$ ) é *refletância*. Nos fechamentos opacos, as cores são importantes para determinação da absortância da superfície, de forma que quanto mais escuras, o índice de absortância será maior e, conseqüentemente, a refletância será menor. Além disso, as diversas características físicas que a superfície apresenta formam um conjunto de fatores que irão influenciar diretamente sua absortância, entre elas a composição química do material, caracterizada por sua absortividade, a rugosidade do material (definida por suas micro-irregularidades geométricas), a ondulação da superfície e sua manutenção ao longo do tempo, devido aos efeitos de degradação (Roriz, 2007<sup>8</sup> *apud* Santos, Dornelles e Souza, 2010).

Em etapa posterior, quando houver a passagem de calor, por condução, através do material do fechamento, a variável envolvida será a *condutividade térmica* ( $\lambda$ ). Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997), propriedade que depende da densidade do material e representa sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo. Outro condicionante importante é a espessura do material do fechamento (L), que garantirá maior resistência ao fluxo da passagem do calor.

Quando a troca térmica ocorre por radiação, como em uma camada de ar, por exemplo, a variável norteadora é a emissividade. A *emissividade* ( $\varepsilon$ ) é uma propriedade física dos materiais que diz qual a quantidade de energia térmica é emitida por unidade de tempo (Lamberts, Dutra e Pereira, 1997). Materiais metálicos (com superfície refletora) possuem índice de emissividade menor (mais próximos do valor zero) do que os materiais não-metálicos (superfície não refletora).

---

<sup>8</sup> RORIZ, M. **Fatores determinantes da absortância solar de superfícies opacas**. In: IX Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto. Anais do IX Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído e V Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Porto Alegre: ANTAC, 2007.

Nos fechamentos transparentes, embora haja trocas de calor por convecção e condução, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997), a radiação é que se torna o principal fator devido à parcela diretamente transmitida para o interior, que depende da *transmissividade do vidro* ( $\tau$ ). Em geral, estes possuem elevada transmitância térmica e, por sua vez, baixa resistência térmica.

A radiação sobre uma superfície transparente pode se comportar de três formas: ser absorvida, refletida ou transmitida para o interior. O que determina o acontecimento de cada caso é o índice de *absortância* ( $\alpha$ ), *refletância* ( $\rho$ ) e *transmissividade* ( $\tau$ ) do fechamento transparente.

Em geral, nos fechamentos transparentes, a parcela de radiação incidente (onda curta) pode ser absorvida pelo vidro, por exemplo. No entanto, sob forma de calor (onda longa) o vidro é opaco, e o calor absorvido para o interior do ambiente não consegue ser eliminado para o ambiente externo, resultando no fenômeno do efeito estufa.

A Figura 3 ilustra as diferenças entre a radiação incidente em fechamentos opacos e em fechamentos transparentes. A principal delas é a parcela de radiação solar transmitida diretamente para o interior do ambiente, devido transparência do vidro, responsável por ganhos térmicos consideráveis no interior do ambiente.

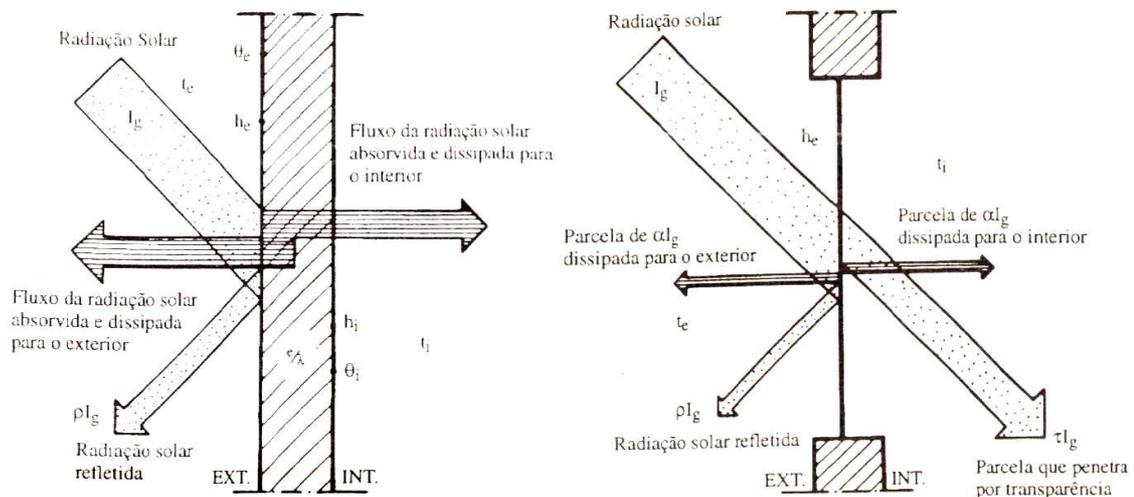


Figura 3: radiação incidente em fechamentos opacos e transparentes. Fonte: Frota e Schiffer, 1995.

Os fechamentos devem ser observados com cuidado, no verão, seu maior ganho térmico é no plano horizontal, visto que recebe maior radiação; enquanto, no inverno, é o plano vertical sugerido pela inclinação solar do período.

Deve-se levar em conta a insolação das fachadas e coberturas, principalmente, no verão, evitando que o edifício seja submetido a uma grande carga térmica. Uma das maneiras de

minimizar o calor que entra, é diminuir a área das paredes mais castigadas pelo sol e que terão maior diferença de temperatura (Corbella e Yannas, 2003). A Figura 4 ilustra, para a cidade de Porto Alegre, no verão, a carga térmica que o edifício fica submetido (para edifícios de mesma altura), que é variável da sua orientação solar e geometria. Note que edifícios com geometria retangular e voltados para norte ficam submetidos a uma carga térmica menor.

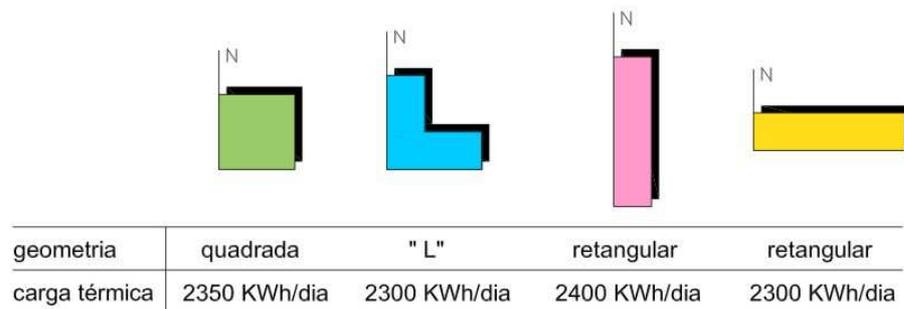


Figura 4: carga térmica em edifícios de geometria e orientação distinta. Fonte: baseado em Corbella e Yannas, 2003.

### 2.1.5 Índices e Escalas de Conforto

O ambiente térmico pode ser caracterizado por *índices e escalas de conforto*. Os índices de conforto térmico definem as *zonas de conforto*<sup>9</sup>, sendo delimitadas por gráficos, nomogramas e cartas; as *escalas de conforto* referem-se às sensações de conforto térmico do usuário.

Para o entendimento das zonas de conforto, são descritos dois estudos: o estudo desenvolvido por Olgay, em que é proposto o diagrama de Olgay; e o estudo desenvolvido por Givoni, em que é proposta a carta bioclimática de Givoni. Para o entendimento das escalas de conforto, é descrito o estudo de Fanger.

#### *Zonas de conforto: estudos de Olgay*

Olgay baseou seus estudos em edifícios leves, em regiões úmidas dos Estados Unidos, justificando, assim, em sua pesquisa, a semelhança encontrada entre as temperaturas no interior e exterior do edifício e, por este motivo, o diagrama desenvolvido por ele, tem sua aplicação para o ambiente exterior.

O diagrama consiste em um gráfico onde a umidade relativa consta no eixo das abscissas e a temperatura do ar no eixo das ordenadas, de forma que se obtém uma figura correspondente ao conforto de verão e outra, correspondente ao conforto de inverno. O

<sup>9</sup> Zona de conforto é a zona na qual não se produz um sentimento de desconforto (Olgay, 1998, p. 18). A zona de conforto varia de acordo com parâmetros humanos: sexo, idade, aclimação e etc.

diagrama determina, ainda, zonas de conforto ótimas, em que a umidade relativa deveria estar na faixa percentual de 30 e 65%.

*Zonas de conforto: estudos de Givoni*

O estudo de Givoni é explicado por Barbosa (1997):

Givoni se baseia em temperaturas internas ao edifício, que foram obtidas através de cálculos e estimam as temperaturas esperadas para o interior. Os limites foram baseados em pesquisas realizadas nos Estados Unidos, na Europa e em Israel, considerando a temperatura interna esperada para um edifício sem climatização artificial e, projetado adequadamente para o local onde está construído, ou seja, considerando que o edifício é inerte termicamente, protegido eficientemente contra a radiação solar e com ventilação adequada.

Givoni propôs a aplicação de sua carta, em ambientes internos à edificação, estendendo os limites da Carta e, adequando-se aos países em desenvolvimento e de clima quente e úmido, no qual a aceitabilidade, de limites máximos superiores de temperatura e umidade relativa, é maior (aclimatação).

A carta bioclimática de Givoni é utilizada sobre uma carta psicrométrica convencional, a partir dos dados de temperatura e umidade relativa do ar. A carta recomenda, para os valores que excedem à zona de conforto, estratégias de projeto mais adequadas para a edificação, para condição de verão e de inverno. As estratégias propostas pela Carta são estruturadas em nove zonas que definem estratégias passivas e ativas necessárias para o incremento do conforto na edificação, sendo estas: zona de conforto, zona de ventilação (V), zona de resfriamento evaporativo (RE), zona de massa térmica para resfriamento (MR), zona de ar condicionado (AC), zona de umidificação (U), zona de massa térmica para aquecimento (MA), zona de aquecimento solar passivo (AS) e zona de aquecimento artificial (AA).

O autor estabelece, ainda, algumas relações entre temperatura de conforto e umidade relativa, para a condição de inverno e verão. As informações foram obtidas em Givoni (1976) e, subsidiaram seus estudos posteriores, em que define a expansão da zona de conforto (Givoni, 1992):

- a) A temperatura satisfatória interna de conforto, medida a 1,5m do nível do piso, deve estar entre 20°C e 22°C;
- b) A temperatura ótima, para o inverno, em clima temperado, é de 20°C (certa redução na temperatura pode ser suportada com desconforto relativo);
- c) Em escolas, levando em conta a elevada taxa de metabolismo dos ocupantes, podem ser consideradas como o limite mínimo de aquecimento, durante o dia, temperaturas interiores de 16,5°C, para regiões secas. Em

escritórios, os limites devem ser maiores, 18°C, para as regiões úmidas (Givoni, 1976, p.371). Note que, o uso da edificação, pode determinar a necessidade de temperatura no interior da edificação. Assim, para edifícios escolares (em razão do metabolismo), no inverno, é bastante adequado, adotar o valor mínimo de 18°C;

- d) A umidade relativa deve estar abaixo de 80%. Acima de 25°C, a influência da umidade relativa fica mais aparente, especialmente, na umidade da pele, na temperatura da pele e, em altas temperaturas, nas taxas de suor;
- e) Em temperaturas, entre 20-25°C, o nível de umidade não afeta psicologicamente e, as variações de umidade relativa entre 30-85%, são, praticamente, imperceptíveis.

Posteriormente, Givoni definiu a zona de conforto, para países em desenvolvimento e de clima quente, ilustrada no diagrama psicrométrico (Figura 5). O inverno e o verão sofrem um alargamento de 2°C em sua zona de conforto. As temperaturas de conforto são definidas entre 18-27°C, para o inverno e, entre 20-29°C, para o verão. Os limites mínimos (inverno) e máximos (verão) de temperatura são aceitáveis para valores baixos de umidade relativa.

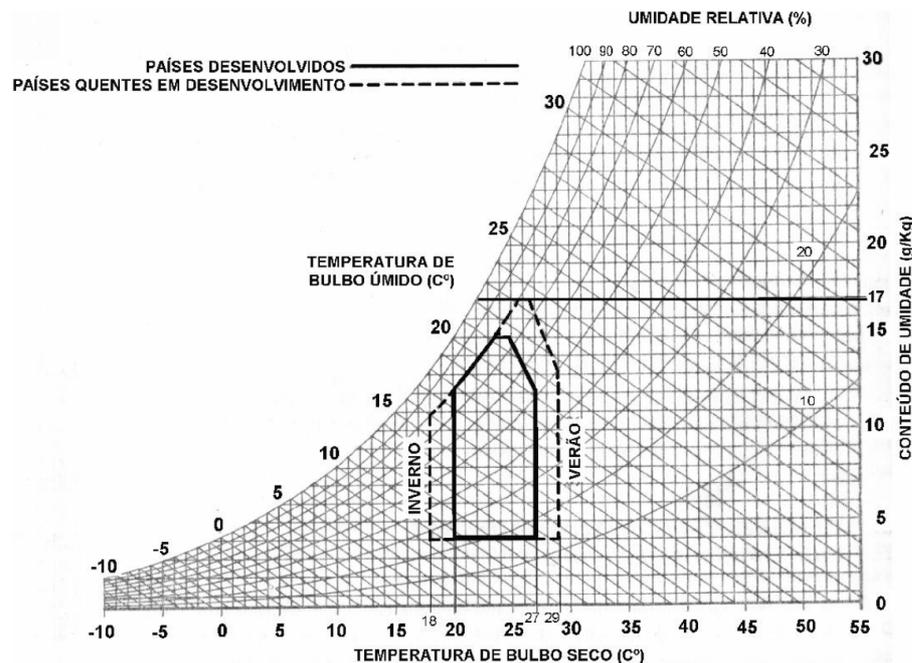


Figura 5: zona de conforto. Fonte: Givoni, 1997.

Esta pesquisa adotará estes parâmetros para a determinação do conforto higrotérmico. Serão utilizados os valores de temperatura estendidos, conforme a definição de Givoni: para o inverno, de 18-27°C e, para o verão, de 20-29°C. A aclimação e a variação de vestimenta (pesadas no inverno e leves no verão) permitem a utilização destes limites.

### *Escalas de conforto: estudos de Fanger*

O estudo de Fanger avaliou pessoas de diferentes nacionalidades, idades, sexos, obtendo o PMV (*predicted mean vote*). O *voto médio predito* consiste em um valor numérico, que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor e, transpõe estes para uma escala, onde, à esquerda, estão os valores negativos (de frio) e, à direita, os valores positivos (de calor). Os valores variam de -3 a +3, caracterizando, respectivamente, a condição de muito frio e de muito calor.

Como ocorrem variações nas sensações térmicas de indivíduos submetidos às mesmas condições, em função da subjetividade da variável, o PMV teve outro conceito agregado, o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfaction*), *percentual de pessoas insatisfeitas* com o ambiente, identificando, a percentagem de pessoas que gostariam que o ambiente estivesse mais quente ou mais frio.

Os conceitos do PMV e do PPD foram integrados à norma ISO 7730, recomendando uma percentagem inferior a 10% de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico (PPD). No entanto, as sensações de conforto dos usuários não são objetos desta pesquisa em razão da não uniformidade dos usuários nos estudos de caso, sendo, tão somente, descritas como parte da revisão bibliográfica.

### 2.1.6 Aclimatação

O conceito de aclimatação se aplica, principalmente, em regiões de climas temperados, onde se observou que as pessoas desenvolvem um considerável grau de aclimatação quando coexistem com o frio e o calor, na presença de duas estações distintas.

Szokolay (1980) ressalta que não se pode desconsiderar a aclimatação dos indivíduos aos locais que habitam, visto que é normal ocorrer um ajuste fisiológico do organismo às condições a que está submetido na maior parte do tempo.

Também há diferenciação entre as edificações condicionadas e não-condicionadas. Pessoas que moram em edifícios sem condicionamento e naturalmente ventilados, usualmente, aceitam uma larga variação de temperatura e velocidade do ar como uma situação normal (Busch, 1992 *apud* Barbosa, 1997).

Segundo Morello (2005), as normas internacionais sugerem condições ótimas, recomendando valores limites, que só podem ser alcançados com a utilização de condicionamento artificial. O autor ressalta ainda, que em Porto Alegre, por exemplo, os valores de umidade relativa, na maioria das vezes, ultrapassam os estabelecidos pela ISO

7730. Assim, algumas condições não-ótimas, prescritas em normas, não encontram desconforto no usuário, podendo ser classificadas como condições indicativas de neutralidade térmica.

## 2.2 CONFORTO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES

Para obtenção do conforto térmico em edificações escolares deve-se conhecer as necessidades, configurações e características de ocupação destes locais. Este segmento da revisão bibliográfica tem como objetivo apontar as particularidades das edificações escolares.

Segundo Gemelli (2009) as edificações escolares se diferenciam das habitações pela sua atividade, tempo de ocupação e sua importância dentro do processo de formação de seus usuários. Para Bogo e Voss (2001), algumas características dos edifícios escolares são inerentes à sua natureza: horários definidos, com períodos compactos de utilização; taxa de ocupação constante e elevada; ausência de fontes de calor significativas, no que se refere a equipamentos internos, mas sim no que se refere aos ocupantes; dimensão padronizada dos espaços das salas de aula e etc.

Abaixo, serão comentadas algumas características destes edifícios:

### *a) Quanto ao período de ocupação em ambientes escolares*

As escolas possuem horário e sistemática de funcionamento próprios. No verão, quando são registrados as maiores médias e os valores absolutos de temperaturas e são registrados o maior número de horas de desconforto ao calor, as edificações escolares estão em período de férias. No inverno, à noite, quando são registrados os menores valores absolutos de temperatura e são registrados o maior número de horas de desconforto ao frio, as escolas estão fora do horário de funcionamento.

### *b) Quanto à intensidade da ocupação em ambientes escolares*

A taxa de ocupação em ambientes escolares é bastante elevada. A alta densidade ocupacional das salas de aula (de 1,8 a 2 alunos por m<sup>2</sup>) causa excessivo ganho interno durante as horas de ocupação e, requer o aumento da ventilação, a fim de assegurar condições próprias de saúde física e mental (Theodosiou e Ordoumpozanis, 2008<sup>10</sup> *apud* Gemelli, 2009).

---

<sup>10</sup> THEODOSIOU, T. G; ORDOUMPOZANIS K. T. Energy, comfort and indoor air quality in nursery and elementary school buildings in the cold climatic zone of Greece. **Energy and Building**, In Press, Corrected Proof, Available on line 26 June 2008.

Em função da intensa ocupação, a ventilação é fator primordial. Seu principal objetivo é de dissipar as altas taxas de CO<sub>2</sub> oriundas dos usuários. Segundo Suzuki e Prado (2010), a insuficiência na renovação do ar pode causar mal-estar nos usuários dos edifícios, caracterizado por alguns sintomas transitórios que afetam parte dos ocupantes somente durante o período de permanência no edifício, devido à presença de agentes químicos, físicos e biológicos no ar interno. Ainda, segundo os autores, em salas ocupadas o nível de CO<sub>2</sub> aumenta se a taxa de renovação de ar por pessoa for menor do que a recomendada por normas.

Segundo Costa (1974, p. 106) em salas de aula, é preferível a taxa de ventilação de 50 m<sup>3</sup>/h por pessoa, sendo que, o mínimo deve ser de 40 m<sup>3</sup>/h por pessoa.

No entanto, deve-se evitar ventilação excessiva a fim de não prejudicar as funções básicas em sala de aula. Segundo Akutsu *et al* (1987), a fim de evitar o incômodo pelo levantamento de papéis, a velocidade não deve exceder 0,8m/s. Também variações excessivas de temperatura causam desconforto aos usuários.

#### *c) Quanto às fontes de calor em ambientes escolares*

As fontes de calor nos ambientes escolares são, predominantemente, devido aos usuários, oriundo do calor produzido pelo corpo humano. Além deste, o ganho térmico com iluminação pode ser considerado.

A produção de calor pelo corpo humano (taxa metabólica) nas edificações escolares é semelhante às atividades de escritórios, de intensidade leve. Os usuários, geralmente, permanecem sentados, lendo ou escrevendo, dissipando energia de 55 a 60 W/m<sup>2</sup> (0,9 a 1met)<sup>11</sup>.

Na iluminação de edifícios escolares são, de forma geral, utilizadas lâmpadas fluorescentes. Segundo Frota e Schiffer (1995), lâmpadas fluorescentes convertem 25% de sua potência elétrica em luz, sendo 25% dissipado, sob forma de calor radiante, para superfícies circundantes e 50% dissipado por convecção e condução.

#### *d) Quanto às dimensões e características construtivas em ambientes escolares*

A tipologia escolar é bastante peculiar: circulações abertas e distribuição linear dos ambientes (*fita simples*). Neste caso, deve-se levar em conta a inserção do edifício na orientação solar mais adequada, evitando a atuação dos ventos de inverno, na área aberta da edificação.

---

<sup>11</sup> Corbella e Yannas (2003, p. 272).

As salas de aula, em geral, apresentam configurações padrão, decorrentes de normativas municipais e estaduais. As exigências construtivas das salas de aulas de edificações escolares, conforme o Código de Edificações de Porto Alegre<sup>12</sup> (seção VI) são: pé-direito de 3,00m; comprimento máximo de 8,00m; largura não excedente a 2,5 vezes a distância do piso à verga das janelas principais; e área calculada à razão de 1,20m<sup>2</sup> no mínimo, por aluno, não podendo ter área inferior a 15m<sup>2</sup>. O código de Obras de Viamão<sup>13</sup> (art. 208) estabelece para as salas de aula: comprimento máximo de 10,00m; largura não excedente a 2 vezes a distância do piso à verga das janelas principais; pé-direito mínimo de 2,60m; área calculada à razão de 1,50m<sup>2</sup> no mínimo, por aluno, não podendo ter área inferior a 15,00m<sup>2</sup>, nem ser ocupada por mais de 40 (quarenta) alunos.

## 2.3 METODOLOGIAS DE TRATAMENTO DE DADOS CLIMÁTICOS

A aplicação de dados climáticos na construção civil requer um prévio tratamento estatístico ou métodos que transformem uma grande quantidade de registros em ferramentas práticas de trabalho (Goulart, 1993). Este segmento da revisão bibliográfica tem por objetivo enumerar as metodologias utilizadas.

Os dados climáticos, mais comumente utilizados na avaliação do desempenho térmico de edificações, têm sido os dias típicos, temperaturas de projeto, graus/dia ou ano climático de referência (Barbosa, 1997).

### 2.3.1 Temperatura de projeto

A temperatura de projeto é fundamentada na ASHRAE<sup>14</sup> e, baseia-se no pressuposto de que um determinado registro de temperatura repetir-se-à com alguma freqüência em um intervalo de tempo. Utiliza-se nesta metodologia, freqüências com percentagens de ocorrência em 1%, 2,5% e 5%.

Para determinação da temperatura de projeto para o inverno se toma dois níveis de freqüências; utiliza-se as temperaturas de bulbo seco igualadas ou excedidas à ocorrência de 99% e 97,5% do total de valores, o qual correspondem aos meses compreendidos entre junho e agosto. No caso da temperatura de projeto para o verão, a freqüência de ocorrência

---

<sup>12</sup> **Código de Edificações de Porto Alegre**. 5ed. Porto Alegre: Corag, 2001.

<sup>13</sup> **Lei Municipal nº 2023/89** (Alterado pelas Leis Municipais nº 2.382/94 e 2.788/99). <http://www.viamao.rs.gov.br/downloads/1256668554.doc>. Acessado em: 01 de novembro de 2010 às 17 horas.

<sup>14</sup> ASHRAE: *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

refere-se à temperaturas de bulbo seco iguais ou excedidas a 1%, 2,5% e 5% do total de registros dos meses de dezembro a março. As temperaturas de bulbo seco devem ser correlacionadas às suas respectivas temperaturas de bulbo úmido. As temperaturas de bulbo úmido, por sua vez, com as correspondentes temperaturas de bulbo seco, são, da mesma forma, calculadas para frequências de 1%, 2,5% e 5%

As temperaturas de bulbo seco de projeto com a temperatura de bulbo úmido coincidentes devem ser usadas para calcular cargas de refrigeração em edificações; as temperaturas de bulbo úmido de projeto são determinadas, a princípio, para uso em processos de resfriamento evaporativo, mas também para calcular cargas de ventilação (Goulart, Lamberts e Firmino, 1998).

### 2.3.2 Grau- Dia e Grau-Hora

Graus-dia é um parâmetro climático que pode ser definido como o somatório da diferença de temperatura, quando esta se encontra abaixo de uma temperatura base ( $T_b$ ). [...] Graus-hora pode ser estimado de maneira similar, porém tomando-se as temperaturas horárias em vez de temperaturas médias diárias (GOULART, LAMBERTS e FIRMINO, 1998).

Segundo Szokolay (1987), graus-dia é um parâmetro climático que pode ser definido como o somatório das diferenças de temperatura, quando estas se encontram abaixo de uma temperatura base ( $T_b$ ). Tal parâmetro é utilizado para estabelecer um referencial da necessidade de energia a ser requerida para aquecer o ambiente (Equação 3).

$$GD = \sum_{i=1}^{n.dias} (T_b - T_{med_i}) \quad (\text{Eq. 3})$$

Este parâmetro também pode ser obtido para verificação da quantidade de graus-dia necessários para refrigeração, neste caso, quando a temperatura média diária, for maior do que a temperatura-base, dessa forma, utilizando-se da equação a seguir (Equação 4):

$$GD_{refr} = \sum_{i=1}^{n.dias} (T_{med_i} - T_b) \quad (\text{Eq. 4})$$

Para o caso da determinação do parâmetro grau-hora procede-se da mesma forma, embora, tomando-se as temperaturas horárias ao invés de temperaturas médias diárias. Neste caso, devem-se verificar os valores horários de temperatura, durante todo o ano (Equação 5)

$$GH = \sum_{i=1}^{n.horas} (T_b - T_{h_i}) \quad (\text{Eq. 5})$$

### 2.3.3 Ano Climático de Referência

O *Test Reference Year (TRY)*, uma das metodologias utilizadas para determinar o ano climático de referência, corresponde a um ano real de dados referentes a um período com registros iguais ou superiores a 10 anos.

O procedimento toma os referências climáticos disponíveis, excluindo destes dados, simultaneamente, os correspondentes às médias das temperaturas mensais extremas, obtendo-se ao fim do procedimento o ano climático típico.

O procedimento é descrito por Goulart, Lamberts e Firmino (1998):

Os meses são classificados em ordem de importância para cálculo de energia, analisando-se os valores médios mensais de temperatura do ar, anotando-se o mês mais quente e o mês mais frio, o segundo mês mais quente e o segundo mês mais frio e assim por diante, conforme aparecem as maiores e as menores temperaturas médias mensais, respectivamente. Após fecharem os doze meses, repete-se a seqüência dos meses, porém invertendo-se o sentido de análise, ou seja, onde é quente passa a ser frio e vice-versa. Com isso, os anos que apresentarem temperaturas médias mensais extremas (mais altas ou mais baixas) poderão ser eliminados de acordo com o procedimento. As temperaturas médias mensais, para cada ano do período de registros disponível, são calculadas e examinadas de acordo com a seqüência listada. O ano com o mês mais quente é anotado. Depois, o ano que contém o mês mais frio. O processo continua, anotando-se os anos nos quais ocorrem os extremos. Estes anos são, então, eliminados e o procedimento é repetido até restar somente um. Este ano é designado como Ano Climático de Referência.

Segundo Barbosa (1997) a vantagem em se adotar um arquivo climático com dados horários de um ano inteiro ao invés de aplicar a prática usual de apenas o dia típico de verão e inverno, se encontra no fato de que os resultados obtidos nas simulações com dados horários anuais são mais representativos das variações sazonais de um ciclo anual.

### 2.3.4 Dias típicos

A metodologia do dia típico utiliza as temperaturas médias diárias de um referido período de tempo. Sattler (1989) utiliza dados climáticos da cidade de Porto Alegre, para desenvolver a metodologia, dispondo de um total de cinco anos de registros. Abaixo, a descrição da metodologia:

O procedimento tem início com o cálculo da temperatura média diária do período de dados disponíveis. Então, são ordenadas as temperaturas médias diárias em ordem crescente. As temperaturas médias diárias referentes a extremos máximos e mínimos são considerados, respectivamente, dias quentes e dias frios. Estes valores correspondem em 15% do volume de dados diários disponibilizados para cada condição (250 dias de temperaturas médias máximas e mínimas). Posteriormente, as temperaturas médias dos dias com médias mais

altas e mais baixas são ordenadas em níveis de ocorrência de 1%, 2,5%, 5% e 10% para dias quentes e para dias frios; de tal forma que o nível de 1%, caracteriza o dia cuja temperatura média é excedida somente por 1% do total de dias, tomando como exemplo dia típico de inverno ou verão.

Para cada dia típico, são listados os valores horários de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido ou umidade relativa, nebulosidade (ou radiação solar), direção e velocidade do vento (Goulart, 1993).

## 2.4 DADOS CLIMÁTICOS PARA PORTO ALEGRE

. Esta parte da revisão bibliográfica tem como objetivo caracterizar o clima da cidade de Porto Alegre e seu entorno.

Foram consultadas as pesquisas realizadas por Goulart, Lamberts, Firmino (1998)<sup>15</sup>, em *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*; trabalho de Ferraro e Hasenack (2000)<sup>16</sup>, publicação denominada *Aspectos do clima de Porto Alegre* e de Aroztegui (1969)<sup>17</sup>, *Parâmetros do conforto térmico de Porto Alegre*.

Quanto às *temperaturas médias*, o estudo de Ferraro e Hasenack (2000) utiliza dados referentes ao período entre 1916 e 1988, oriundos da estação meteorológica do 8º Distrito e Meteorologia (INMET). As temperaturas médias, ao longo do ano, são expostas a seguir: Janeiro (24,7°C), Fevereiro (24,6°C), Março (23,2°C), Abril (19,9°C), Maio (17,0°C), Junho (14,7°C), Julho (14,4°C), Agosto (15,2°C), Setembro (16,8°C), Outubro, (19°C), Novembro (21,1°C), e dezembro (23,4°C). A temperatura máxima absoluta já registrada ocorreu em Janeiro, 40,7°C e a temperatura mínima absoluta ocorreu em Julho, -2°C. A temperatura média anual registrada foi de 19,5°C.

Alterações bruscas de temperatura não são eventos raros de ocorrer ao longo do ano climático; as chamadas ondas de calor e ondas de frio são recorrentes. As primeiras, segundo Sattler (1989) são caracterizadas como se desenvolvendo por um período mínimo de três dias, com temperatura mínima acima de 22°C e temperatura máxima acima de 33°C. As segundas, as ondas de frio, ocorrem a partir da entrada de uma massa de ar polar

---

<sup>15</sup> GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2ed. Florianópolis, 1998. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes/publicacoes.html>

<sup>16</sup> FERRARO, L.W.; HASENACK, H. **Aspectos do clima de Porto Alegre**. In: ZURITA, M.L.L.; TOFO, A.M. (Org.) **Qualidade do ar em Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2000.

<sup>17</sup> AROZTEGUI, J. M. **Parâmetros do conforto térmico de Porto Alegre**. Porto Alegre: UFRGS, 1977.

continental, de direção oeste e sudoeste e, apresentam um queda brusca de temperatura, de 10°C, por um período de até 24 horas, apresentam do duração de 3 (três) a 9 (nove) dias, de maior ocorrência no mês de Julho.

Quanto à *umidade relativa*, Porto Alegre sofre a interferência das massas de ar de origem marítima, conferindo ao clima valores de umidade relativa acima da média. Com alusão ao trabalho de FERRARO e HASENACK (2000), os valores de umidade relativa médios são apresentados: Janeiro (71%), Fevereiro (74%), Março (76%), Abril (77%), Maio (81%), Junho (82%), Julho (81%), Agosto (79%), Setembro (78%), Outubro, (75%), Novembro (71%), e dezembro (69%), com média de 76% ao ano. Os maiores valores são registrados no período do inverno, precisamente, no mês de Junho e Julho. Os menores valores médios correspondem ao período de verão, meses de Dezembro e Janeiro.

Quanto às *massas de ar* atuantes no estado, Porto Alegre recebe a influência de quatro tipos de massas de ar distintas, que determinam a variação climática ao longo do ano. A ação da *Massa Tropical Marítima*, oriunda do centro de alta pressão do Anticiclone Subtropical de direção nordeste, úmida e quente e, com maior ocorrência nos meses de primavera e verão. A *Massa Polar Marítima*, oriunda do centro de alta pressão do Anticiclone Polar, fria e úmida. Esta ainda pode receber influência da *Massa de Ar Polar Continental*, fria e seca. Por fim, a *Massa Tropical Continental*, oriunda do centro de baixa pressão, formada na depressão do Chaco, tem seu ingresso no estado na direção noroeste, conferindo ao clima altas temperaturas e umidade, provocando dias extremamente quentes, no verão e o chamado “veranico de maio”, no outono e inverno.

Quanto à atuação dos *ventos*, são produtos da ação da Zona Anticiclônica Permanente sobre o oceano atlântico, suscitando nas suas direções e características. Oriundos do quadrante leste e sudeste, no verão possibilitam a atenuação da temperatura; no inverno, são, normalmente, ventos frios e úmidos, quando provenientes da direção sudeste e frios e secos, quando do deslocamento do Anticiclone Semi-permanente do Atlântico Sul na direção norte, no qual a direção passa a ser no quadrante oeste. A disponibilidade de dados do vento leva em consideração os ambientes abertos e sem interferência de barreiras físicas, como árvores, edifícios e etc. Segundo Aroztegui (1977), no inverno predominam os ventos fracos (aproximadamente, 1m/s), sem direção predominante; no verão, venta com velocidade de 2m/s e com predominância dos ventos leste e leste-sudeste. Os meses de outubro a novembro apresentam os maiores registros de velocidade do ar e o mês de setembro é uma transição do período de calmaria, correspondente ao inverno e do período mais ventoso, correspondente aos meses que antecedem o verão. Goulart, Lamberts, Firmino (1998) determinam para o nível de frequência de 1%, no verão, a velocidade do

vento de 2,5m/s e para o nível de freqüência de 99%, no inverno, a velocidade do vento de 0,4m/s.

Porto Alegre, dessa forma, apresenta clima subtropical úmido, com distinção sazonal. No verão, as altas temperaturas estão associadas aos altos índices de umidade da massa subtropical, o que provoca, além do desconforto térmico, fortes precipitações convectivas (Ferraro e Hasenack, 2000). No inverno, a Massa Polar Marítima é precedida pela descontinuidade da Frente Polar, resultando em dias frios e chuvosos, de amplitude térmica moderada, por dias frios e ensolarados, de grande amplitude térmica, quando da atuação da Frente Polar.

Levando em conta os estudos de Goulart, Lamberts e Firmino (1998), que analisam o período de 1951-1970, os valores se distinguem pouco dos apresentados anteriormente, resultando em pequenas diferenças dos parâmetros analisados. No entanto, estes autores disponibilizam os dados de maneira mais acessível ao projetista, e, portanto, facilitam a análise de desempenho das edificações.

Em relação metodologia *graus-hora*, para condição de aquecimento, tomando como referencial temperatura base (temperatura do ar),  $T_b$ , de 18°C, o somatório de graus-hora nos meses foram: Janeiro (50,2), Fevereiro (52,9), Março (149,2), Abril (887,9), Maio (2149,5), Junho (3145,5), Julho (3449,3), Agosto (2856,8), Setembro (1685,7), Outubro (873,1), Novembro (373,7), e dezembro (151,4), representando, anualmente, 15825,2. Para condição de resfriamento, utilizando como  $T_b$ , de 29°C, o somatório de graus-hora se apresentou da seguinte forma: Janeiro (362,8), Fevereiro (276,5), Março (189,3), Abril (34,1), Maio (7,8), Junho (1,1), Julho (2,5), Agosto (15,4), Setembro (20,0), Outubro (35,7), Novembro (98,3), e dezembro (233,8), representando, anualmente, 1277,3.

Segundo Aroztegui (1977) as condições térmicas do ambiente para Porto Alegre sugerem algumas características: a variação diária possui característica própria que se repete e pode atingir com normalidade variação de 4°C/hora; os picos se dão normalmente às 14-16 horas, para as máximas e as 5-7 horas, para as mínimas; as oscilações médias diárias oscilam entre 9°C e 10°C, excepcionalmente variações diárias de até 25°C podem aparecer; existe forte relação entre temperaturas e umidades relativas, correspondendo em geral os picos máximos de um com os picos mínimos do outro e a elevada umidade com a uniformidade de temperatura.

## 2.5 ESTUDOS E PESQUISAS NA ÁREA DE CONFORTO TÉRMICO

As publicações são subsídios para pesquisas futuras e, contribuem para a estruturação de um estado da arte acerca da linha de pesquisa em conforto térmico. Este segmento da revisão bibliográfica tem por objetivo identificar diferenciações metodológicas utilizadas nas pesquisas e, dessa forma, contribuir para a construção desta. Serão apontados: (a) breve caracterização das pesquisas; (b) referencial da temperatura de conforto térmico adotada nas respectivas pesquisas; (c) tipos de equipamentos utilizados nas pesquisas; (d) dados coletados; (e) período de coleta de dados; e (f) altura de fixação dos equipamentos de medição. O objetivo, ainda, é estabelecer um breve panorama da pesquisa de conforto térmico, principalmente, as que fazem uso do procedimento de medições *in loco*.

Sabe-se, que a temperatura de conforto de referência pode ser variável, dependendo da atividade metabólica, das vestimentas, do tipo de ambiente (escola, escritório ou residência), da umidade relativa do ar e de fatores de aclimação. De acordo com Frota e Schiffer (1995) a escolha de um ou outro tipo de índice de conforto deve estar relacionada com as condições ambientais, com a atividade desenvolvida pelo indivíduo, pela maior ou menor importância de um ou outro aspecto de conforto. Ainda, segundo as autoras, zonas de conforto devem ser encaradas como uma indicação e analisadas acerca de sua aplicabilidade às condições específicas de projeto e de realidade ambiental.

Os equipamentos demandados e a variáveis medidas também sofrem variações. Atualmente, tem-se utilizado com maior frequência equipamentos do tipo *datta-loggers*, em substituição ao volume de equipamentos anteriormente utilizados (psicrômetros e termômetros). Segundo Barbosa, Lamberts e Guths (2008) a obtenção de dados para avaliação do desempenho térmico de edificações através do procedimento por medição foi facilitada pelo surgimento de equipamentos registradores e armazenadores eletrônicos de temperatura e outros sinais, os *data-loggers*. Além disso, as variáveis monitoradas têm se restringido, em razão do volume de dados coletados, da facilidade de manipulação de alguns destes, da importância hierárquica de algumas variáveis em detrimento de outras e das metodologias de análise disponíveis.

O período de coleta de dados é bastante distinto. Alguns autores realizam a coleta de dados em situações de inverno e de verão, em que são registrados os períodos mais extremos de temperatura. Há também, coleta de dados pelo período de um ano, em que segundo Morello (2005) os dados medidos no período de um ano são suficientes para avaliar o comportamento térmico da edificação, excluindo a necessidade de simulações e uso da metodologia de dias típicos. E algumas situações específicas, a análise refere-se apenas a períodos efetivos de utilização da edificação analisada.

Finalmente, as alturas dos equipamentos são indicadas em norma. No entanto, devido às condições físicas e de uso dos espaços monitorados, com frequência não é possível a fixação e permanência dos equipamentos em altura normativa.

A Tabela 1 ilustra um quadro comparativo das pesquisas desenvolvidas na área de conforto térmico. Utilizou-se, para fins de exemplificação, os trabalhos desenvolvidos por: Barbosa (1997) - *Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares*; Papst (1999) - *Uso de inércia térmica no clima subtropical. Estudo de caso em Florianópolis – SC*; Adriazola (2002) – *Avaliação de desempenho térmico de salas de aula do CEFET-PR, unidade de Curitiba*; Morello (2005) - *Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada*; Gemelli (2009) – *Avaliação de conforto térmico, acústico e lumínico de edificação escolar, com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: o caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico*; e Ochoa (2010) – *Avaliação do conforto ambiental em salas de aula da Universidade Federal de Goiás*.

Tabela 1: quadro comparativo dos estudos e pesquisas na área de conforto térmico

	<b>Barbosa (1997)</b>	<b>Papst (1999)</b>	<b>Adriazola (2002)</b>	<b>Morello (2005)</b>	<b>Gemelli (2009)</b>	<b>Ochoa (2010)</b>
<b>Instituição</b>	PPGEP (UFSC)	PPGEC (UFSC)	PPGET (CEFET/PR)	PPGEC (UFRGS)	PPGEC (UFRGS)	PPG em Geotecnia, Construção Civil e Mecânica (UFG)
<b>Resumo</b>	A pesquisa desenvolveu uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico em edificações térreas, residenciais e unifamiliares. A pesquisa avaliou cinco habitações de interesse social, com características construtivas distintas, submetidas à análise pelos métodos de medição <i>in loco</i> e simulação.	A pesquisa analisou a temperatura em residências, com diferenças em seu envelope externo, obtendo-se a resposta da validade ou não da inércia térmica para clima quente e úmido, através do método de medição <i>in loco</i> . Os dados foram analisados através de gráficos de distribuição de temperatura, amplitude térmica, amortecimento térmico, atraso térmico, carta bioclimática, grau-médio e grau-hora.	A pesquisa analisou o comportamento térmico de oito salas de aulas, com variação no uso dos materiais construtivos e na orientação solar, que foram submetidas à análise pelos métodos de medição <i>in loco</i> , seguidos por simulação. A edificação foi analisada mediante a temperatura do ar e horas de conforto.	A pesquisa analisou o comportamento térmico da habitação de interesse social, o protótipo Casa Alvorada, edificado no campus da UFRGS, através do método de medição <i>in loco</i> , subdividindo as análises, segundo as estações do ano. A edificação foi analisada sob quatro aspectos: análise da temperatura do ar, análise da umidade relativa do ar, metodologia de graus-hora e carta bioclimática.	A pesquisa analisou o conforto ambiental da Escola Frei Pacífico, nos aspectos térmico, acústico e lumínico, em quatro salas de aula. Os métodos utilizados na avaliação do conforto térmico foram medição <i>in loco</i> e percepção dos usuários. A edificação foi analisada sob os aspectos de: temperatura do ar, umidade relativa do ar, metodologia de graus-hora, carta bioclimática de Givoni, metodologia de dias típicos e análise da ventilação.	A pesquisa analisou o conforto ambiental de salas de aula de duas edificações educacionais no Campus da UFG, com propostas arquitetônicas distintas. Os métodos utilizados na avaliação do conforto térmico foram medição <i>in loco</i> e percepção dos usuários. Foram analisados os parâmetros de conforto para temperatura do ar, umidade relativa, a metodologia graus-hora e cartas psicrométricas baseadas em Givoni.
<b>Zona de conforto</b>	18-29°C.	Temperaturas-base: para análise da condição de calor, variaram de 2 K em 2 K, entre 21°C e 29°C; e para análise da condição de frio, variaram de 2 K em 2 K, entre 13°C e 19°C.	14°C-29°C.	20°C-29°C; no verão; 18°C-27°C, no inverno; 18°C a 29°C, para primavera e outono.	14°C-29°C, devido aos fatores externos como vestimenta, geração de calor e movimentação do ar.	18°C - 29°C.
<b>Equipamentos</b>	Termômetro de globo de bulbo seco; psicrômetro com dois termômetros de bulbo seco e Kata termômetro.	<i>data-loggers</i> .	<i>data-loggers</i> , com aquisições a cada 5 minutos.	Equipamento BABUC/A, com diversos sensores – psicrômetro, termômetro de bulbo úmido, termômetro de globo, velocidade do ar e radiômetro de dupla face.	<i>data-loggers</i> ; quatro sensores instalados no interior das salas de aula (um equipamento por sala de aula) e dois externos (área externa ou circulação).	<i>data-loggers</i> ; quatro sensores em cada edifício, sendo dois equipamentos no interior das salas e dois externos (área externa ou circulação).
<b>Dados coletados</b>	Temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade relativa e velocidade do ar.	Temperatura do ar.	Temperatura do ar e umidade relativa do ar.	Temperatura de globo, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, temperatura de orvalho, assimetria da temperatura radiante, umidade relativa do ar e nível de iluminação. Somente os dados de temperatura do ar e de umidade relativa do ar, foram utilizados na avaliação de desempenho.	Temperatura do ar e umidade relativa do ar.	Temperatura do ar e umidade relativa do ar.
<b>Período de coleta de dados</b>	Dois períodos de medições, em cada estação, considerando inverno e verão.	De abril a dezembro.	Cinco dias durante o inverno (agosto) e cinco dias durante o verão (janeiro).	Anual.	De maio a dezembro.	De junho a abril.
<b>Altura de fixação dos equipamentos</b>	1,10 metros do piso.	Alturas aleatórias.	Alturas não especificadas.	1,10 metros do piso	3,00 metros do piso, internamente, e a 2,50 metros, externamente.	Alturas variáveis: 2,55m e 3,60m - em função da segurança dos equipamentos.

### 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo é apresentado o método de pesquisa, estruturado em delineamento da pesquisa, estudos de caso e coleta de dados; tem como objetivo ilustrar, encaminhar e justificar as atividades e etapas desta pesquisa.

A pesquisa realizada foi do tipo empírico: ocorreu por meio de análise em ambiente real, no qual se trabalha com muitas variáveis. Foi um estudo de caso, porque se referiu à análise de um fenômeno contemporâneo, através da observação direta dos acontecimentos, em tempo real. YIN (1994) define estudo de caso como uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo ocorrendo em contexto da vida real, no qual o investigador tem pouco controle sobre os eventos.

#### 3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa foi estruturada em três etapas, ilustradas na Figura 6: Etapa 1 – *Caracterização e planejamento da pesquisa*; Etapa 2 – *Coleta de dados*; Etapa 3 – *Análise e discussão dos resultados*. Ainda, uma etapa denominada *Revisão Bibliográfica*, subsidiou todas as demais etapas, fornecendo o embasamento teórico necessário e, dessa forma, foi considerada como parte de todas as etapas do trabalho.

Revisão bibliográfica		
1° etapa: caracterização e planejamento da pesquisa	2° etapa: coleta de dados	3° etapa: análise e discussão dos resultados
<b>Estudos de caso</b>	<b>Medições</b>	<b>Análise do desempenho térmico</b>
Caracterização do edifício;	Medições higrotérmicas por estações do ano nos estudos de caso (1 ano);	Análise do desempenho térmico por estações do ano
Caracterização dos materiais e técnicas construtivas;	Coleta de dados com equipamentos em alturas e posições distintas;	Análise do desempenho térmico em períodos de ocupação
Caracterização das propriedades térmicas;	<b>Análise documental</b>	Análise do desempenho térmico em períodos com e sem utilização das salas de aula
Caracterização da ocupação;	Coleta de dados climáticos de Porto Alegre – base de dados <i>inmet</i>	Análise do desempenho térmico comparativa
<b>Coleta de dados</b>		Proposta de melhorias e sugestões para trabalhos futuros
Instrumentação;		<b>Análise dos dados climáticos – Porto Alegre</b>
Amostra;		Análise dos dados climáticos comparativos (Porto Alegre, Feliz e Itapuã)

Figura 6: delineamento da pesquisa

Na primeira etapa da pesquisa, denominada *Caracterização e planejamento da pesquisa*, são descritos os *Estudos de caso* e a *Coleta de dados*. Em *Estudos de Caso* são citados o Centro de Educação Profissional do Vale do Caí e a Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico, classificados em quatro aspectos: o primeiro, *caracterização do edifício*, caracteriza a edificação, sua localização, histórico e descrição do projeto arquitetônico; o segundo, *caracterização dos materiais e técnicas construtivas*, descreve materiais empregados; o terceiro, *caracterização das propriedades térmicas*, fornece dados de transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico dos fechamentos; e o quarto, *caracterização da ocupação*, ilustra as reais condições de uso das edificações monitoradas. Em *coleta de dados* são definidos os procedimentos de coleta de dados: *instrumentação* e *amostra*.

Na segunda etapa da pesquisa, denominada *Coleta de dados*, são realizadas as medições propriamente ditas.

Na terceira etapa da pesquisa, denominada *Análise e discussão dos resultados*, são descritos os resultados do monitoramento *in loco* e a avaliação de desempenho higrotérmico dos casos estudados. Também, são apresentados os resultados do desempenho térmico da edificação ocupada e sem ocupação; e um comparativo dos dados climáticos do município de Porto Alegre com os dos municípios de Feliz e de Itapuã (Viamão).

## 3.2 ESTUDOS DE CASO

A pesquisa em questão é um Estudo de Caso, porque foi um trabalho exploratório-descritivo, que tentou conhecer um assunto pouco explorado pelos pesquisadores, que não requereu controle sobre eventos comportamentais e que esteve focado em eventos contemporâneos (Yin, 1994). Os eventos são correntes e analisados em seus próprios contextos; portanto, foi necessário descrever com exatidão os estudos de caso analisados. Os estudos de caso também apresentam como características, etapas de análise bem definidas, com etapas previamente planejadas.

Nesta pesquisa serão tratados dois estudos de caso, expostos a seguir.

### 3.2.1 Centro de Educação Profissional do Vale do Caí

#### 3.2.1.1 Caracterização do Edifício e do Projeto Arquitetônico

O Centro de Educação Profissional do Vale do Caí localiza-se no Estado do Rio Grande do Sul, na Região do Vale do Caí, no Município de Feliz, em zona urbana, na latitude 29°27' sul e na longitude 51°17' oeste. O acesso ao Município dá-se pela rodovia RS-452, divisa com o Município de Bom Princípio, em direção à Serra gaúcha (Figura 7).

O entorno imediato à Escola é, predominantemente, ocupado por habitações térreas, apresentando uma morfologia bastante uniforme e densidade reduzida. O terreno da escola, a sudeste, faz divisa com o Rio Caí. Há presença significativa de áreas verdes no entorno.

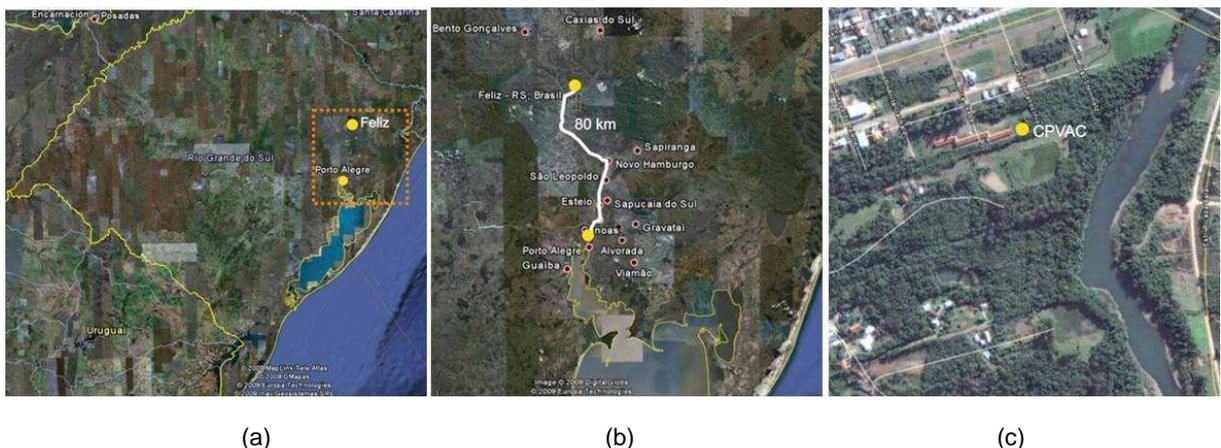


Figura 7: (a) município de Feliz e sua localização no Estado do Rio Grande do Sul. (b) distância do Município de Feliz à Cidade de Porto Alegre. (c) localização do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí (CPVAC). Fonte: Google Earth

### *Histórico do Projeto Arquitetônico*

As informações fornecidas quanto à elaboração do Projeto Arquitetônico foram obtidas a partir da dissertação de Silva (2009).

Parte de um processo maior para o desenvolvimento do Vale do Caí, com o objetivo de criar e desenvolver mão-de-obra profissional para a região foi criada a Fundação de Educação Profissional do Vale do Rio Caí (2002), composta por empresas, entidades, associações, sindicatos, universidades e 20 municípios.

A partir do contato da Prefeitura Municipal de Feliz com a FEPVARC é exposta a demanda por uma Escola profissionalizante no município. Sua criação tinha por objetivo fornecer mão-de-obra especializada para a região, mantendo os profissionais nas suas localidades.

O terreno destinado à Escola foi doado pela Prefeitura Municipal de Feliz à FEPVARC (entidade civil e sem fins lucrativos). A FEPVARC priorizava a construção da Escola afinada ao desenvolvimento sustentável e a conscientização ambiental. O projeto existente para o local, elaborado pelo Gabinete de Arquitetura da municipalidade de Feliz, foi remodelado a partir de um contato com o NORIE/UFRGS, em 2002, por ter sido considerado que o projeto inicial, desenvolvido por uma equipe de profissionais locais, não estava em harmonia com o projeto pedagógico de educação ambiental.

O NORIE, através dos alunos de pós-graduação, acabou por desenvolver o Anteprojeto da Escola (que incluía estratégias sustentáveis). O Projeto Executivo foi desenvolvido por escritório de arquitetura contratado pela FEPVARC, que foi responsável pelas especificações e detalhamento das técnicas construtivas propostas pelo grupo do NORIE.

Após processo licitatório, a obra foi iniciada em maio de 2006, sendo, parcialmente finalizada e ocupada em 2007.

### *Projeto Arquitetônico*

Estas informações foram obtidas da dissertação de SILVA (2009) e do Projeto Executivo..

O terreno disponibilizado para a Escola contempla uma área de 62.000 m<sup>2</sup>, tendo 75 m de largura e 825 m de comprimento. O local é cercado por vegetação nativa e área preservada (à sudeste).

O Projeto Executivo previa instalações, que não foram executadas plenamente. Elas são descritas abaixo:

- a) O projeto foi elaborado em cinco grandes blocos, denominados de A a E, em formato retangular, dispostos de forma escalonada, orientados com sua

- fachada principal para norte, no qual se desenvolveriam, predominantemente, as atividades acadêmicas, sendo compostos por salas de aula e laboratórios;
- b) Um grande bloco integrador, em formato de semicírculo, no qual reunia as funções comuns do edifício, como biblioteca, administração e auditório;
- c) Algumas estratégias de sustentabilidade foram disponibilizadas como integrantes do processo de aprendizagem: leito de evapotranspiração e infiltração, hortas, estação de tratamento de resíduos sólidos e outros.

Foram construídos 3 (três) blocos: o primeiro bloco (C), com administração e biblioteca; no segundo e no terceiro bloco (D e E), salas de aula e laboratórios. Este trabalho se apoiou no edifício construído, composto pelos 3 blocos citados acima. Foram estudados neste trabalho o bloco D e a sala de aula nº2. Para tanto, abaixo, se rão expostas as condições encontradas no referido bloco e na sala de aula analisada (Figura 8).

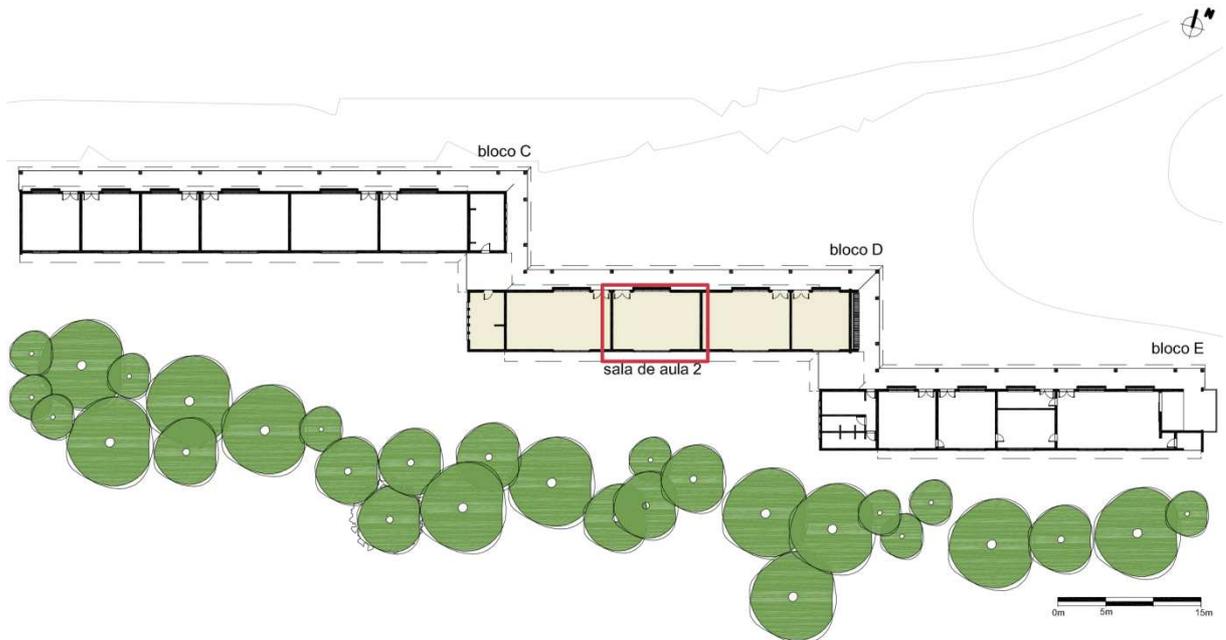


Figura 8: implantação do CPVAC

O edifício tem sua orientação voltada para o quadrante norte-noroeste, a 15 graus a oeste da orientação norte. As fachadas serão chamadas, por simplicidade, de fachada norte e fachada sul, em decorrência da pequena angulação existente

A tipologia é em *fita simples*, com circulação aberta e coberta (Figura 9). A circulação se distribui longitudinalmente pelo edifício, ocupando uma largura de 2,20 m.



Figura 9: vista do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí (CPVAC)

Abaixo, as fachadas principais, fachada norte (Figura 10) e fachada sul (Figura 11) com a marcação da sala de aula analisada, nestas fachadas.

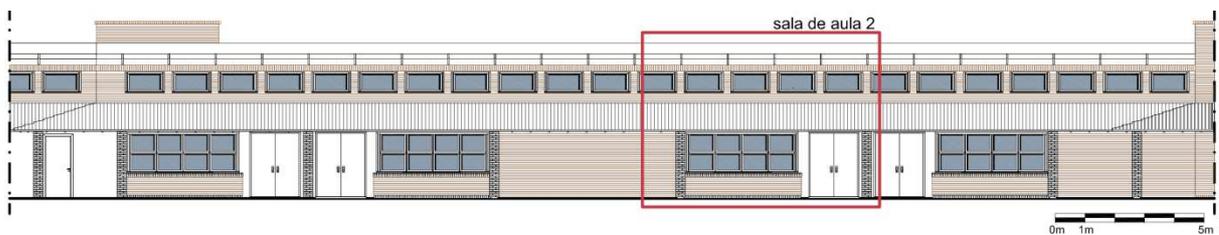


Figura 10: fachada norte

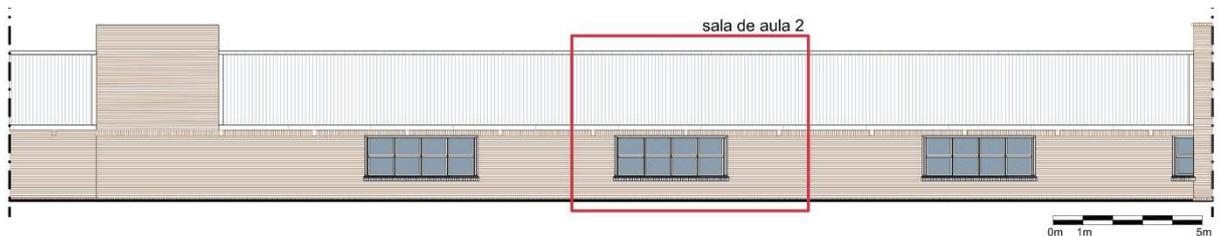


Figura 11: fachada sul

As salas de aulas possuem dimensões de 9,10 m x 6,10 m, resultando em uma área de 55,11 m<sup>2</sup> (Figura 12).

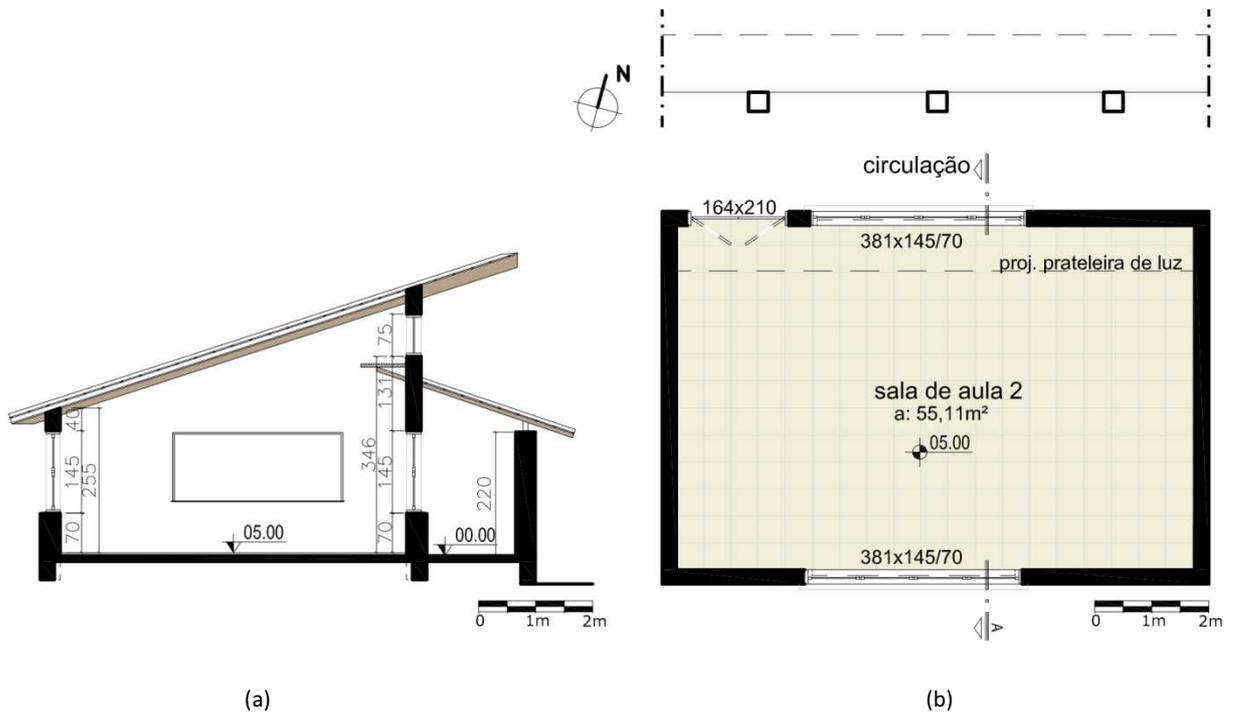


Figura 12: (a) corte da sala de aula (b) planta baixa da sala de aula - CPVAC

As esquadrias, nas fachada norte e sul, possuem peitoris a 0,70m do piso. A fachada norte, possui, também, uma esquadria com peitoril a 3,46m, que tem por objetivo qualificar a iluminação da sala de aula e, ainda, auxiliar na exaustão convectiva do ambiente (Figura 13).



Figura 13: vistas da sala de aula - CPVAC

No local é possível identificar a incidência de dois tipos de ventilação: a ventilação cruzada e a ventilação por efeito chaminé.

As taxas de ventilação e renovação do ar estão diretamente associadas ao tipo, tamanho e posição das esquadrias, estando estas (tamanho e posição) descritas na Tabela 2. Será adotada a referência de Barbosa (1992 *apud* Grigoletti, 2007, p.95) para o cálculo da área útil de ventilação, que leva em consideração o vão da esquadria (área de ventilação), o tipo (basculante, no caso), sendo utilizada a Equação 6:

$$\text{Área útil de ventilação} = (1 - \cos\beta) \times \text{área de ventilação} \quad (\text{Eq. 6})$$

Tabela 2: esquadrias e área útil de ventilação - CPVAC

Esquadria	orientação	posição	área de ventilação (m <sup>2</sup> )	ângulo de abertura	área útil de ventilação (m <sup>2</sup> )
Esq.01	sul	Baixa (peitoril: 0,70cm)	0,549 x 8 = 4,39m <sup>2</sup>	45°	1,28m <sup>2</sup>
Esq. 02	norte	Baixa (peitoril: 0,70cm)	0,549 x 8 = 4,39m <sup>2</sup>	45°	1,28m <sup>2</sup>
Esq.03	norte	Alta (peitoril:3,46cm)	0,952 x 6 = 5,71m <sup>2</sup>	45°	1,67m <sup>2</sup>

A Tabela 3 quantifica o volume de ar renovado (Va), para diferentes incidências de vento, em situações de inverno e verão.

Tabela 3: volume de ar renovado – CPVAC

$Va = Ae \cdot N \cdot v$						
Ae (m <sup>2</sup> ) (área de entrada do ar)		As (m <sup>2</sup> ) (área de saída do ar)	N <sup>18</sup> (depende de As/Ae)	v (km/h) (velocidade do ar) <sup>19</sup>		Va (m <sup>3</sup> /h) (vol. de ar renovado)
norte	2,95	1,28	380	inverno	3,6	4.035 m <sup>3</sup> /h
norte	2,95	1,28	380	verão	9,0	10.089 m <sup>3</sup> /h
sul	1,28	2,95	760	inverno	3,6	3.502 m <sup>3</sup> /h
sul	1,28	2,95	760	verão	9,0	8.755 m <sup>3</sup> /h

### 3.2.1.2 Caracterização dos Materiais e Técnicas Construtivas

Os materiais especificados no projeto buscaram atender os seguintes aspectos: serem locais, ou seja, disponíveis na região; culturalmente aceitos; não tóxicos; reciclados ou potencialmente recicláveis ou reutilizáveis; com pegada ecológica pequena; apropriados para a autoconstrução e duráveis.

As informações descritas foram obtidas a partir do Projeto Executivo, fornecido pelo escritório de arquitetura responsável.

<sup>18</sup> N depende da relação entre As/Ae, sendo um valor descrito em tabela. Rivero (1985, p. 120).

<sup>19</sup> Dados extraídos de GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. 2ed. Florianópolis, 1998, *item 10.2 "Temperatura de Projeto - ASHRAE"*, p. 177.

As paredes externas são portantes, de alvenaria de tijolos maciços (21x10x5,5cm), duplas (tipo Eckert), com a face externa aparente e a face interna revestida de argamassa. As paredes divisórias internas possuem a mesma constituição, sendo, no entanto, revestidas de argamassa, em ambas as faces.

A laje de piso é de concreto pré-moldado (sistema vigota e tavela) de 10cm de espessura.

O piso externo é de tijolos maciços dispostos em módulos com padrão “escama de peixe”, com borda externa de arremate em tijolos maciços dispostos em cutelo. O piso interno é constituído de placa cerâmica, nas dimensões de 40x40cm, PEI III e PEI IV. O piso é assentado sobre contrapiso de 5cm.

A cobertura é composta de telha cerâmica, tipo romana, cor crua, com proteção esmaltada, inclinação de 30% ou 18°. O madeiramento do telhado é em madeira *Eucaliptus Saligna* e *Eucaliptus grandis*

Entre o madeiramento e seu forro, foi aplicada uma chapa de alumínio reutilizada (chapa de *offset*), de 60x72cm. A chapa de *offset* é colocada com a superfície polida voltada para baixo, de forma que seja minimizado o calor radiante transmitido para o interior da edificação (superfícies polidas ou metálicas possuem coeficiente de emitância muito menor do que as superfícies opacas, do mesmo material)

O forro das Salas de Aula são em placas de madeira mineralizada (fibras de *Pinus elliotis* misturadas com cimento), nas dimensões de 1,10x1m e, espessura de 2,54cm.

As esquadrias são em madeira de *Eucaliptus Saligna*, com vidro de 4mm.

### 3.2.1.3 Caracterização das Propriedades Térmicas

Os valores de referência e o método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica e do atraso térmico, foram baseados na *Norma Brasileira de Desempenho Térmico NBR 15220 (ABNT, 2005b), Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica e do fator solar de elementos e componentes de edificações e no software transmitância, v.1*. A Tabela 4 e a Figura 14 ilustram as propriedades térmicas dos fechamentos.

Tabela 4: transmitância térmica (U), capacidade térmica (C<sub>t</sub>) e atraso térmico (φ) dos fechamentos da sala de aula – CPVAC

orient.	descrição das camadas	E (cm)	E total (cm)	U [W/m <sup>2</sup> .K]	C <sub>t</sub> [kJ/m <sup>2</sup> .K]	φ [horas]
<b>Parede externa</b>						
N-S	Tijolo cerâmico 21x10x5,5cm	10	27	1,84	362	7,10
	Camada de ar	5				
	Tijolo cerâmico 21x10x5,5cm	10				
	Argamassa interna	2*				
<b>Parede interna</b>						
L-O	Argamassa interna	2*	29	1,78	401	7,80
	Tijolo cerâmico 21x10x5,5cm	10				
	Camada de ar	5				
	Tijolo cerâmico 21x10x5,5cm	10				
	Argamassa interna	2*				
<b>Cobertura</b>						
N	Telha de barro tipo romana esmaltada	1	20	0,50	45	4,70
	Camada de ar: madeiramento	16				
	Lâmina de alumínio polido	0,2				
	Forro de madeira mineralizada	2,54				
<b>Piso</b>						
-	Laje vigota-tavala cerâmica (camada de ar)	10	17	3,55	290	4,10
	Contrapiso	5				
	Placas cerâmicas 40x40cm	2*				

\* Valores não encontrados em projeto. Utilizaram-se valores estimados, usualmente, encontrados.

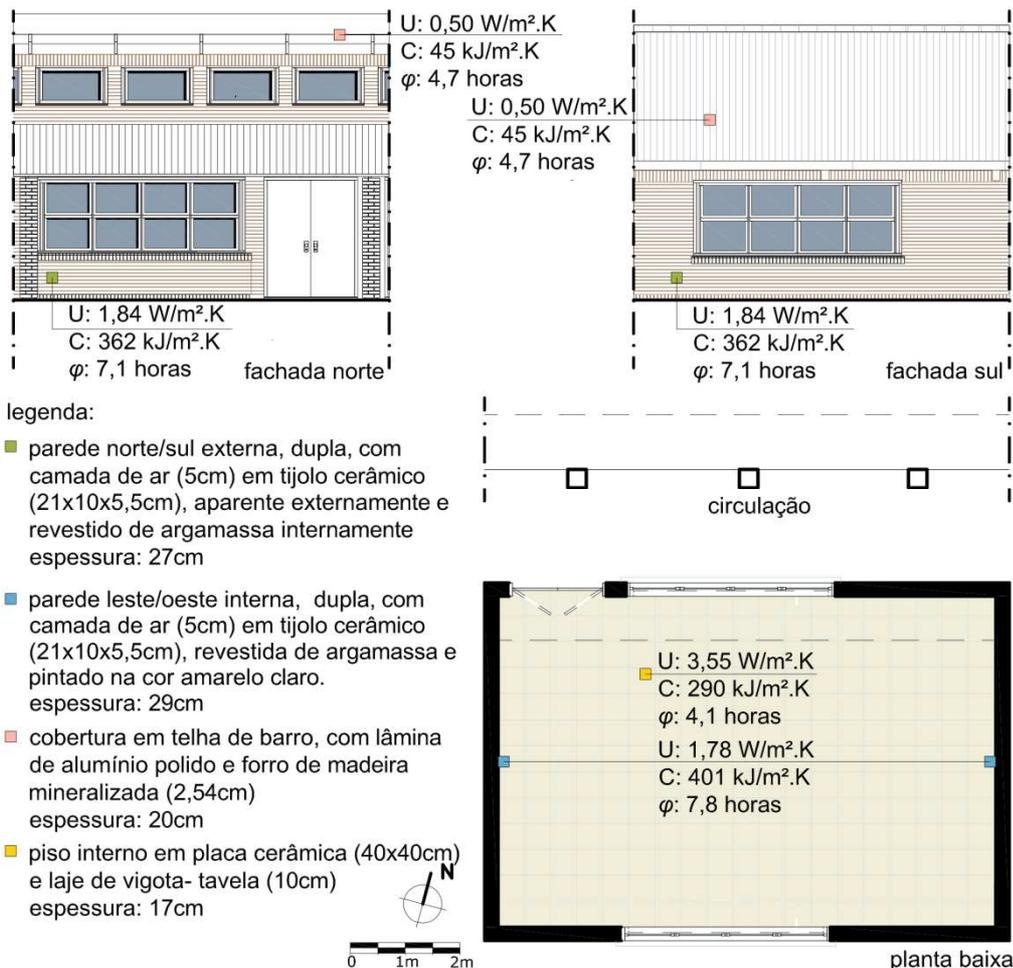


Figura 14: ilustração da transmitância térmica (U), capacidade térmica (C<sub>t</sub>) e atraso térmico (φ) dos fechamentos da sala de aula – CPVAC

Considerando a *Norma Brasileira de Desempenho Térmico NBR 15220* (ABNT, 2005c), *Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para a habitações unifamiliares de interesse social*, que estabelece um zoneamento bioclimático brasileiro abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas e, tomando por base a zona climática da cidade de Porto Alegre (zona bioclimática 3) é possível fazer um comparativo (Tabela 5), embora as funções das edificações sejam distintas.

Tabela 5: transmitância térmica e atraso térmico admissíveis em norma e calculado para o Cpvac

Vedações externas	Transmitância térmica admissível por norma U [W/m <sup>2</sup> .K]	Atraso térmico admissível por norma $\varphi$ [horas]	Transmitância térmica Cpvac U [W/m <sup>2</sup> .K]	Atraso térmico Cpvac $\varphi$ [horas]
Parede: leve refletora	<b>U ≤ 3,60</b>	<b><math>\varphi</math> ≤ 4,30</b>	<b>1,84</b>	<b>7,10</b>
Cobertura: leve isolada	<b>U ≤ 2,00</b>	<b><math>\varphi</math> ≤ 3,30</b>	<b>0,50</b>	<b>4,70</b>

### 3.2.1.3 Caracterização da Ocupação

Os dados obtidos para caracterização da ocupação foram disponibilizados pelo Prof. Luis Carlos Cavalheiro da Silva, diretor do CPVAC (2010) e são relativos, predominantemente, ao segundo semestre de 2010.

Posteriormente à construção dos três primeiros blocos e passado um ano do término da obra, o edifício apresentou alguns problemas construtivos, que determinaram alterações no funcionamento das atividades na escola. Com vistas à correção destes, as aulas foram suspensas na escola, sendo locado outro espaço, no centro da cidade, para manutenção das aulas. Dessa forma, na maior parte do ano de 2010, a escola abrigou somente as funções administrativas.

A Escola contava com 120 alunos, no total, embora este não tenha sido o número de alunos submetidos ao cumprimento dos créditos e, portanto, presentes em sala de aula. As salas de aula acomodam, em média, a 30 alunos. Essa oferta de vagas, ainda tende a ser aumentada, com a projeção de criação de novos cursos técnicos para os próximos anos. O quadro funcional, em 2010, foi composto por dois funcionários administrativos e 12 professores.

### 3.2.2 Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico

#### 3.2.2.1 Caracterização do Edifício e do Projeto Arquitetônico

A Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico está situada no Estado do Rio Grande do Sul, no Município de Viamão, no Distrito de Itapuã, em zona rural, na latitude 30°20' sul e longitude 50°59' oeste. O acesso ao local, pela cidade de Porto Alegre, pode ser realizado pela Estrada do Lami (Zona Sul) e, posteriormente, pela RS-118 (liga Porto Alegre ao Parque Estadual de Itapuã), em um percurso de, aproximadamente, 50Km (Figura 15).

A região onde a Escola está inserida pertence à Bacia do Delta do Jacuí e é adjacente ao Parque Estadual de Itapuã. Assim, possui abundante área de preservação vegetal, conferindo à região microclima característico. O entorno é bastante rarefeito, do ponto de vista do ambiente construído, sendo, basicamente, cercado por pequenas habitações térreas e esparsas.

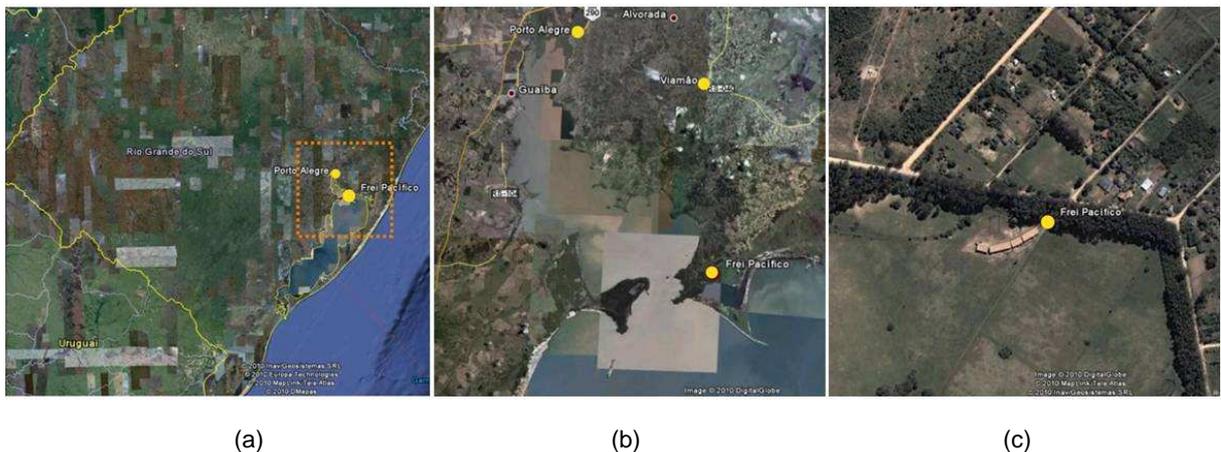


Figura 15: (a) distrito de Itapuã e sua localização no Estado do Rio Grande do Sul. (b) distância do Distrito de Itapuã à Cidade de Porto Alegre. (c) localização da escola Frei Pacífico. Fonte: Google Earth

#### *Histórico do Projeto Arquitetônico*

As informações sobre o projeto arquitetônico foram extraídas das dissertações de Gemelli (2009) e Silva (2009) e de um artigo de Zanin *et al* (2006).

A escola original, que servia aos moradores da região, em 2001, apresentava problemas críticos nas suas instalações. A comunidade local, através do Orçamento Participativo e da Secretaria de Educação de Viamão, reivindicou verba para a construção de um novo prédio, alinhado a princípios de sustentabilidade e preservação da cultura local.

Em 2002, o terreno destinado à construção da nova Escola foi disponibilizado pelo Governo Estadual, a partir de solicitação do Município de Viamão. Posteriormente, foi estabelecido contato com o NORIE para desenvolvimento de um Anteprojeto para a Escola.

O NORIE, em disciplinas do curso de pós-graduação, definiu as necessidades e requisitos dos usuários, através de pesquisa junto à comunidade, na disciplina de Percepção Ambiental (prof.<sup>a</sup> Beatriz Fedrizzi); e o anteprojeto, na disciplina de Projetos Regenerativos (prof. Miguel A. Sattler).

Em 2003, era finalizado o Anteprojeto para a Escola. No ano seguinte, foi dada continuidade, com desenvolvimento do Projeto Executivo, por alunos do NORIE, coordenados pelo Prof. Miguel A. Sattler.

Em 2007, parte da Escola teve sua obra concluída, iniciando as atividades letivas.

#### *Projeto Arquitetônico<sup>20</sup>*

O terreno possui área de, aproximadamente, 1 hectare, com geometria de um quadrilátero de 100m x 100m. A proposta original previa a construção de 7 (sete) blocos, sendo eles: um bloco de administração; um bloco de cantina ou refeitório; dois blocos de salas de aula; dois blocos de sanitários e laboratórios; um bloco de auditório (Figura 16).

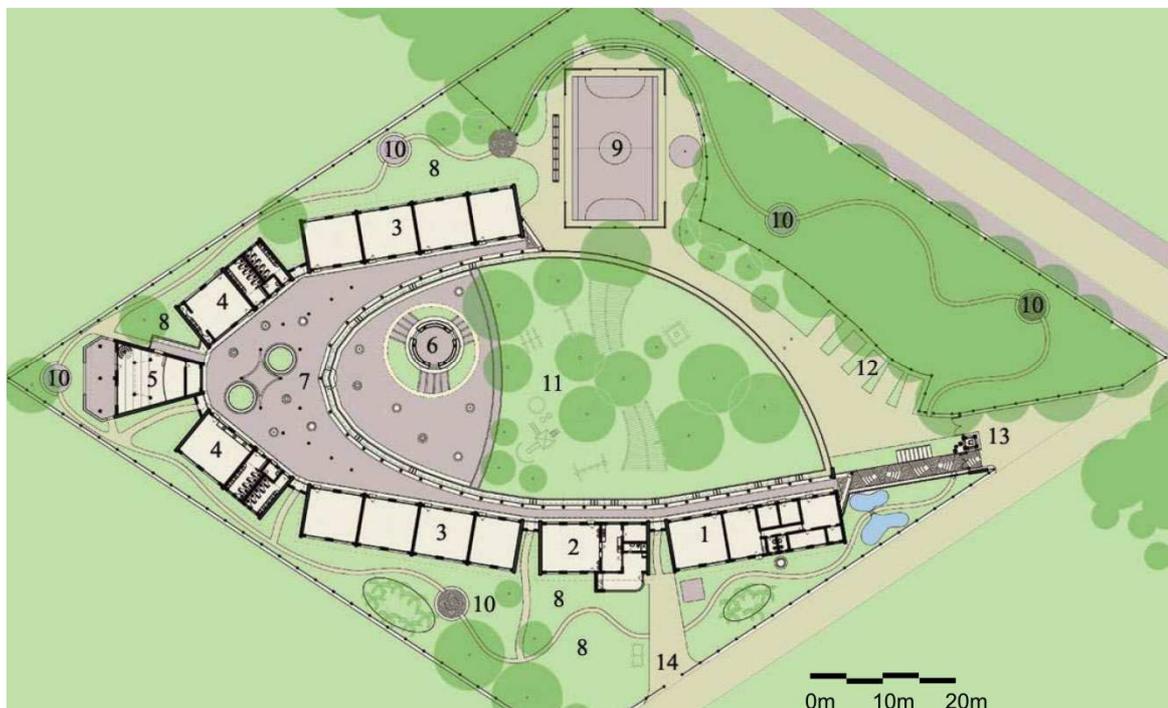


Figura 16: implantação original da Escola Frei Pacífico: 1-administração; 2-cantina; 3-salas de aula; 4-sanitários e laboratório; 5-auditório; 6-coreto; 7-recreação coberta; 8-hortas; 9-quadra esportiva; 10-pontos de parada; 11-recreação aberta; 12-estacionamento; 13- guarita; 14-acesso de serviço. Fonte: Zanin *et al* (2006).

<sup>20</sup> Conforme Gemelli (2009), Silva (2009) e Zanin *et al* (2006).

Para o início das atividades escolares foram construídos 4 (quatro) blocos, que estabelecem um percurso a partir do acesso à Escola: no primeiro bloco, a administração e a biblioteca; no segundo bloco, o refeitório; no terceiro bloco, as salas de aula, onde se inicia um alargamento da circulação; e por fim, um bloco de sanitários e laboratório, onde há um alargamento mais amplo da circulação.

Este trabalho analisou o edifício construído à época da realização desta pesquisa, composto pelos 4 blocos, citados acima (administração, refeitório, salas de aula, sanitários e laboratório). Foi estudado o bloco C, que inclui às salas de aula. Para tanto, abaixo serão explanadas as condições encontradas no referido bloco e na sala de aula analisada (Figura 17).

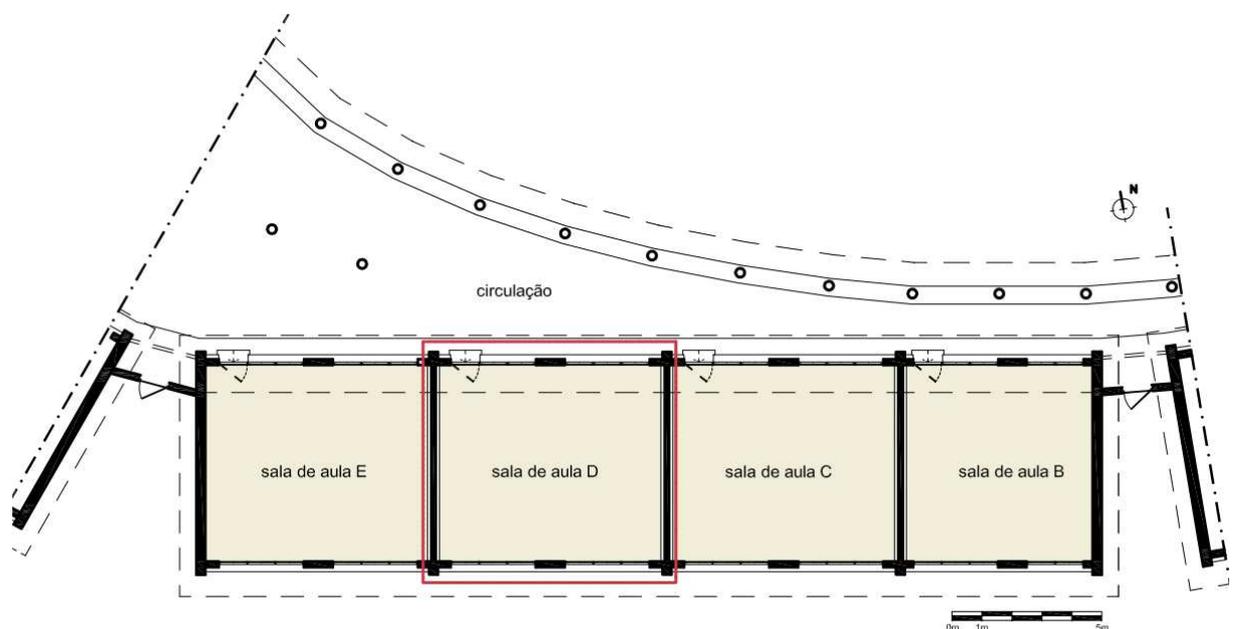


Figura 17: planta baixa do bloco das salas de aula – Frei Pacífico

O bloco de salas de aula tem sua fachada principal voltada para o quadrante norte-nordeste; especificamente, com 9 graus para leste, a contar da orientação norte. As fachadas serão chamadas de fachada norte e fachada sul, por simplicidade e em decorrência da pequena angulação existente a contar destas.

A tipologia é de *fita simples*, com circulação aberta e coberta. A circulação protege da radiação solar direta (aba horizontal) e permite renovações de ar nestes espaços (Figura 18). A circulação possui largura variável, na extensão do edifício, alargando-se junto ao bloco das salas de aula, com dimensão mínima de 2,45m de largura.



Figura 18: vista da Escola Frei Pacífico

O objeto deste estudo é a sala de aula D, localizada no bloco de salas de aula. Abaixo, as fachadas principais, fachada norte (Figura 19) e fachada sul (Figura 20) e a indicação da sala de aula analisada, nas fachadas.

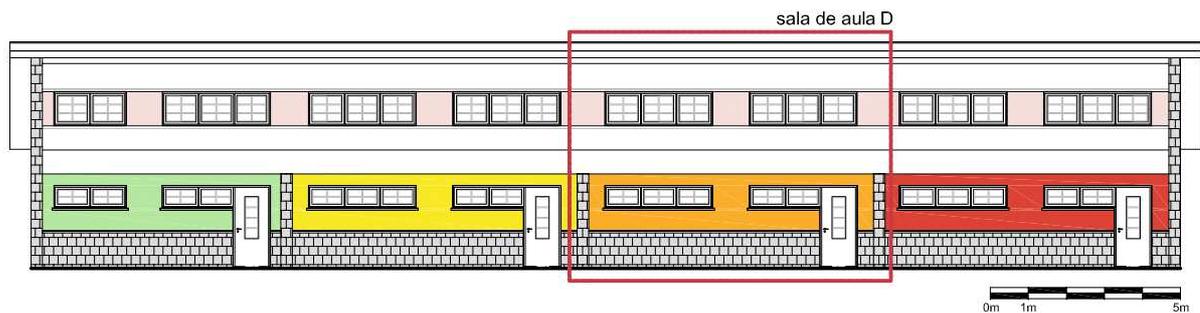


Figura 19: fachada norte

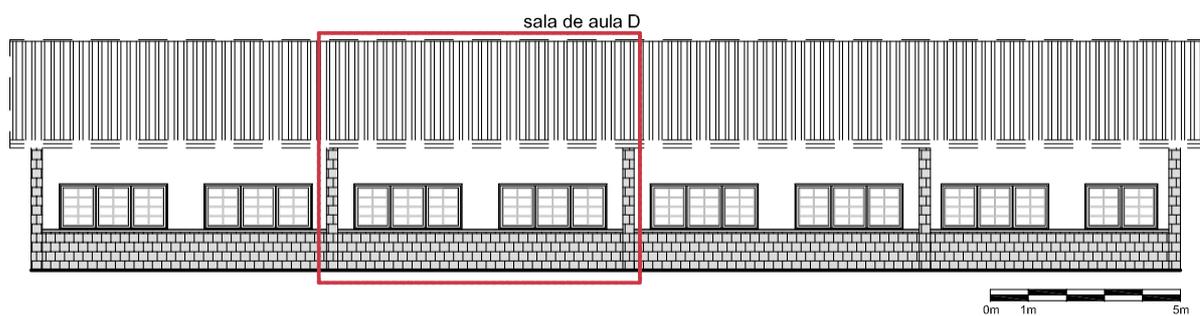


Figura 20: fachada sul

As salas de aula possuem dimensões de 7,65m x 6,60m, totalizando uma área de 50,49m<sup>2</sup> (Figura 21).

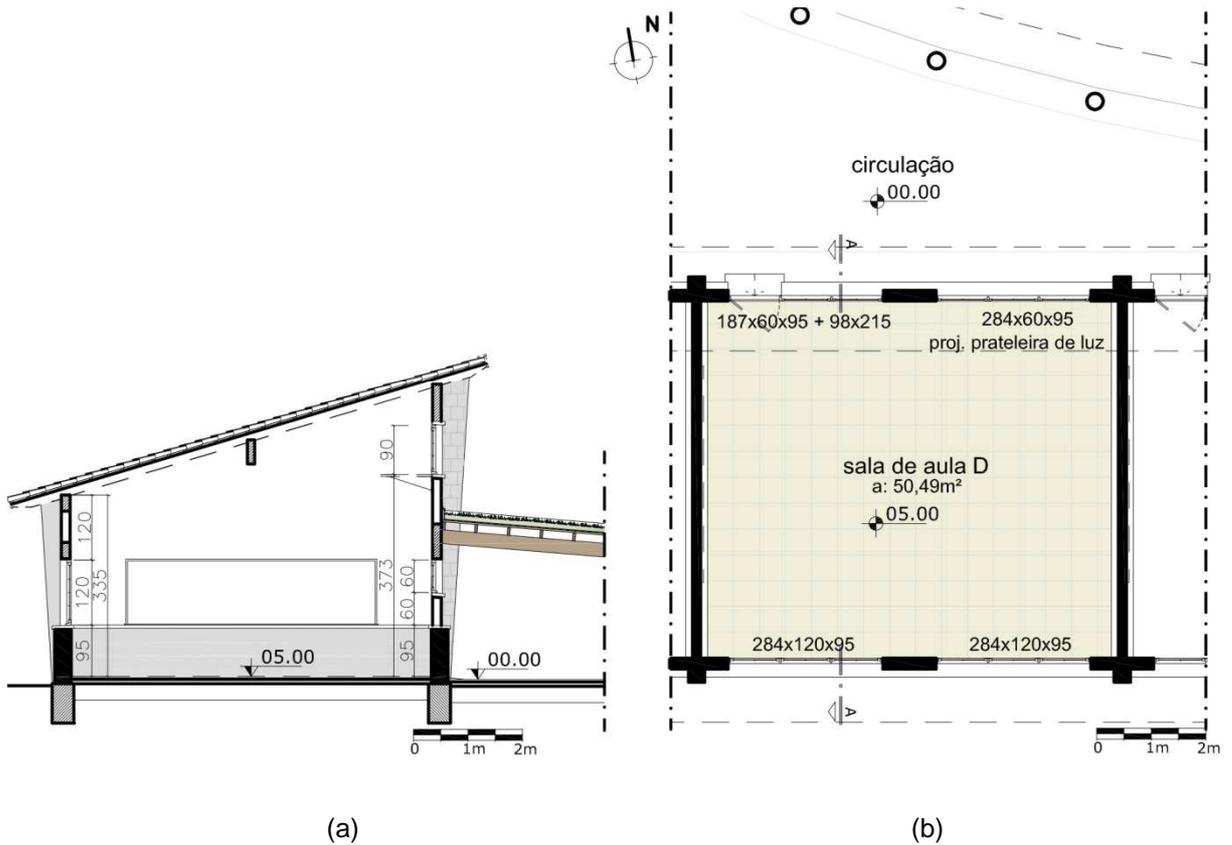


Figura 21: (a) corte da sala de aula (b) planta baixa da sala de aula – Frei Pacífico

As salas de aula apresentam esquadrias em ambas as fachadas norte e sul, com peitoris a 1,55 cm e 0,95cm do piso. A fachada norte apresenta, ainda, uma prateleira de luz, na qual a luminosidade ingressa por outra esquadria, com peitoril de 3,75m. Assim, a partir das disposições e alturas das esquadrias, foi possível identificar a ocorrência de ventilação cruzada e efeito chaminé (no qual o ar quente é removido do interior da sala de aula por convecção natural). A Figura 22 ilustra o interior da sala de aula.



Figura 22: vistas da sala de aula – Frei Pacífico

As áreas de ventilação correspondem, na fachada sul, a 4,54m<sup>2</sup>; e na fachada norte, a 1,89 m<sup>2</sup>, nas esquadrias junto à circulação e a 3,40 m<sup>2</sup>, nas esquadrias junto à prateleira de luz.

A Tabela 6 identifica o volume de ar renovado (Va), para diferentes incidências de vento, em situações de inverno e verão. Considerou-se, segundo Gemelli (2009), a área útil de ventilação oferecida pelas esquadrias como correspondendo a 100%, uma vez que mesmas se abrem em ângulo horizontal de 180°, facilitando as trocas do ar.

Tabela 6: volume de ar renovado – Frei Pacífico

<b>Va= Ae . N . v</b>						
<b>Ae (m<sup>2</sup>)</b> (área de entrada do ar)		<b>As (m<sup>2</sup>)</b> (área de saída do ar)	<b>N</b> (depende de As/Ae)	<b>v (km/h)<sup>21</sup></b> (velocidade do ar)		<b>Va (m<sup>3</sup>/h)</b> (vol. de ar renovado)
norte	5,29	4,54	510	inverno	3,6	<b>9.712 m<sup>3</sup>/h</b>
norte	5,29	4,54	510	verão	9,0	<b>24.281 m<sup>3</sup>/h</b>
sul	4,54	5,29	600	inverno	3,6	<b>9.806 m<sup>3</sup>/h</b>
sul	4,54	5,29	600	verão	9,0	<b>24.516 m<sup>3</sup>/h</b>

### 3.2.2.2 Caracterização dos Materiais e Técnicas Construtivas<sup>22</sup>

As informações descritas abaixo foram obtidas a partir do *memorial descritivo* da construção da Escola Frei Pacífico.

A especificação dos materiais se baseou na utilização de materiais locais e de baixo impacto ao longo de seu ciclo de vida: pedra de granito, extraída por cooperativa artesanal da região; tijolo cerâmico; madeira de reflorestamento, com tratamento ecológico e não tóxico; ecotábua, produzida a partir de plástico reciclado.

Assim sendo, as paredes externas, fachadas leste-oeste, foram executadas em alvenaria portante de pedra granítica, aparente, na dimensão 30x30x30cm.

As paredes externas, fachadas norte-sul, foram executadas em técnica mista, ou seja, parte em pedra granítica, 30x30x30cm (4 fiadas), aparente; parte em bloco cerâmico estrutural, revestido de argamassa, de dimensões 29x19x19cm, com dimensão final de 21cm.

As paredes internas foram executadas em blocos cerâmicos estruturais, de dimensão 29x19x14cm, revestidas de argamassa, com espessura final de 16cm.

As juntas, em argamassa, são de 1 cm, para qualquer uma das técnicas utilizadas.

<sup>21</sup> Considerou-se, para inverno, uma velocidade de 1m/s e, para o verão, uma velocidade de 2,5m/s. Os valores para serem convertidos em km/h, foram multiplicados por 3,6.

<sup>22</sup> Conforme Gemelli (2009), Silva (2009) e Zanin *et al* (2006).

A cobertura da edificação é composta por um telhado de duas águas desencontrado. Uma das águas do telhado, que compreende os espaços internos dos edifícios – salas de aula, sanitários, administração – é de telha cerâmica portuguesa. A estrutura de madeira é de caibros de eucalipto *saligna* de seção 5x15cm. Apoiados nos caibros, foram colocados contra-caibros, com seção de 5x2,5cm, onde se apóiam as ripas, de seção de 5x2,5cm. Entre os contra-caibros e os caibros foi colocada sub-cobertura de chapas recicladas de off-set (barreira radiante).

A outra parte do telhado, correspondente a área da circulação, utilizou a técnica de telhado verde ou cobertura viva. Sua estrutura é de caibros de madeira de eucalipto, 20x5cm, apoiados em vigas de seção variável. Os caibros apóiam o assoalho de madeira ecológica (espessura de 3cm), que dá suporte a uma camada de terra com cobertura vegetal (substrato de 12cm de espessura). A impermeabilização é de PEAD (0.8mm), instalada sobre o assoalho, conjuntamente com um sistema de drenos e gárgulas e com a camada drenante (Geocomposto drenante, 10mm).

O forro foi executado em madeira do gênero *pinus*, macho-fêmea, com tábuas de *pinus* de 10x2,5x180cm.

Os pisos internos foram executados em placas cerâmicas, de cor clara, 30x30cm, PEI 4, assentados diretamente sobre laje de concreto de 8 cm de espessura, com cola cimentícia.

Os pisos externos foram executados com pedras de basalto e pedras de granito, ambas com espessuras entre 6 e 10cm, assentadas diretamente sobre contrapiso de 4cm, niveladas na face superior. Abaixo, possuem uma sub-base de camada de brita, compactada, de 5cm no mínimo, assentada sobre leito de solo compactado.

As esquadrias são metálicas, do tipo basculante, objetivando maior segurança, e os quadros das mesmas, são em madeira de reflorestamento. Os vidros são lisos, incolores, de 3mm.

### 3.2.2.3 Caracterização das Propriedades Térmicas

Os valores de referência e o método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica e do atraso térmico, foram extraídos da *Norma Brasileira de Desempenho Térmico NBR 15220 (ABNT, 2005b), Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica e do fator solar de elementos e componentes de edificações*. A Tabela 7 e a Figura 23 apresentam as propriedades térmicas dos fechamentos.

Tabela 7: transmitância térmica (U), capacidade térmica ( $C_t$ ) e atraso térmico (horas) dos fechamentos da sala de aula – Frei Pacífico

orient.	descrição das camadas	E (cm)	E total (cm)	U [ $W/m^2.K$ ]	$C_t$ [ $kJ/m^2.K$ ]	$\varphi$ [horas]
<b>Parede externa (mista)</b>						
N-S	Pedra granítica 30x30x30cm	30	30	3,68	652	5,10
<b>Parede externa (mista)</b>						
N-S	Argamassa externa	1	21	2,01	174	4,70
	Bloco-cerâmico 29x19x19cm (camada de ar)	19				
	Argamassa interna	1				
<b>Parede interna</b>						
L-O	Argamassa interna	1	16	2,46	165	3,80
	Bloco-cerâmico 29x19x14cm (camada de ar)	14				
	Argamassa interna	16				
<b>Cobertura<sup>23</sup></b>						
N	Telha de barro portuguesa	1	29	0,77	41	3,40
	Camada de ar: madeiramento (caibros/ripas)	25				
	Lâmina de alumínio polido	0,2				
	Forro de pinus 10x2,5x180cm	2,5				
<b>Piso</b>						
-	Laje de concreto	8	11	4,66	235	2,70
	Argamassa colante	1				
	Placas cerâmicas 30x30cm	2				

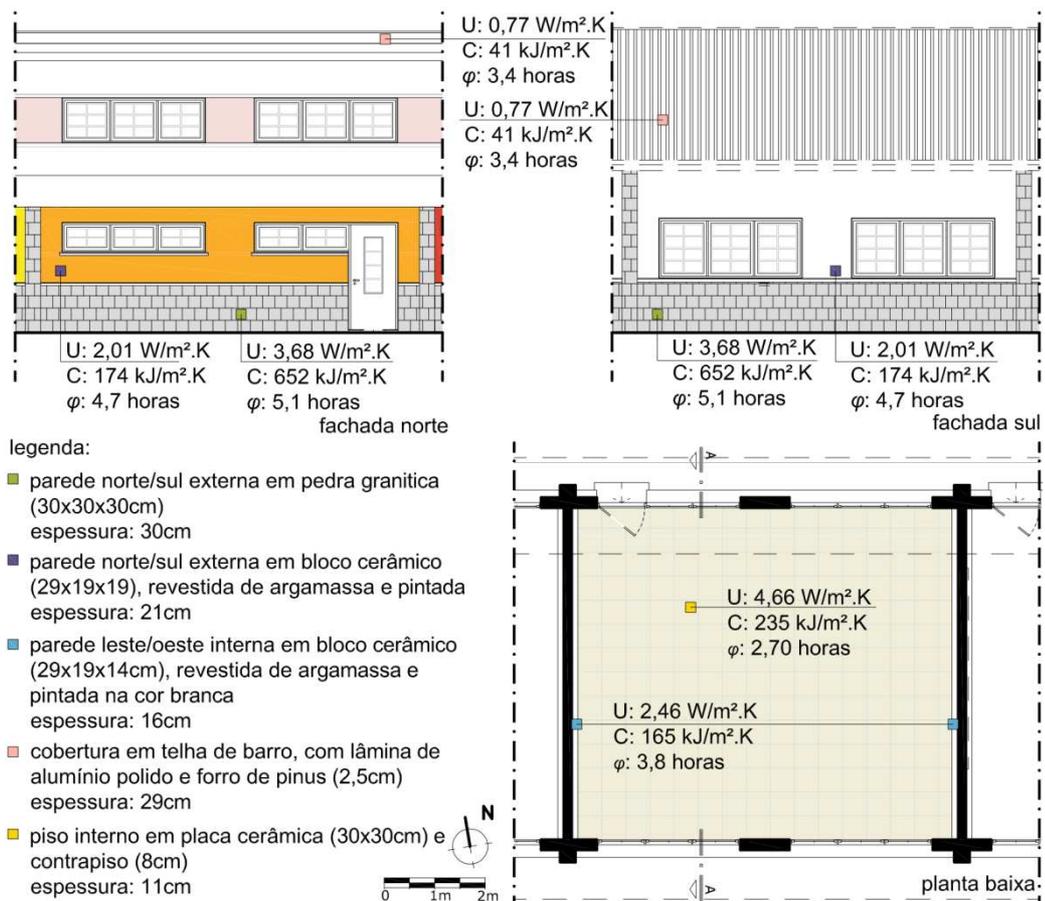


Figura 23: ilustração da transmitância térmica (U), capacidade térmica ( $C_t$ ) e atraso térmico ( $\varphi$ ) dos fechamentos da sala de aula – Frei Pacífico

<sup>23</sup>Para o cálculo da cobertura, considerou-se os valores da camada de ar ventilada como sendo iguais ao de uma camada de ar não ventilada, em decorrência de o maior ganho térmico, no verão, ocorrer pelo telhado.

Considerando a *Norma Brasileira de Desempenho Térmico NBR 15220* (ABNT, 2005c), *Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para a habitações unifamiliares de interesse social*, abaixo é realizado o comparativo da transmitância térmica e atraso térmico admissíveis em fechamentos com os calculados para a Escola Frei Pacífico (Tabela 8), tomando por base o referencial da zona climática 3 (Porto Alegre).

Tabela 8: transmitância térmica e atraso térmico admissíveis em norma e calculado para a Frei Pacífico

Vedações externas	Transmitância térmica admissível por norma U [W/m <sup>2</sup> .K]	Atraso térmico admissível por norma $\varphi$ [horas]	Transmitância térmica <b>Frei Pacífico</b> U [W/m <sup>2</sup> .K]	Atraso térmico <b>Frei Pacífico</b> $\varphi$ [horas]
Parede: leve refletora	<b>U ≤ 3,60</b>	<b><math>\varphi</math> ≤ 4,30</b>	<b>3,68</b> <b>2,01</b>	<b>5,10</b> <b>4,70</b>
Cobertura: leve isolada	<b>U ≤ 2,00</b>	<b><math>\varphi</math> ≤ 3,30</b>	<b>0,77</b>	<b>3,40</b>

#### 3.2.2.4 Caracterização da Ocupação

O número de salas de aulas existentes na Escola ficou aquém das previstas em projeto. A oferta destes espaços foi reduzida pela metade. Em razão disso, foi necessária uma adaptação na ocupação da Escola:

- a) O espaço destinado à biblioteca, no bloco A, deu lugar a uma nova sala de aula, totalizando, desta forma, 5 (cinco) salas de aula na Escola;
- b) A redução do número de salas de aulas definiu uma taxa de ocupação maior do que a capacidade destes ambientes. Assim, pode ser observada uma distribuição maior de carteiras nestes locais; a produção de calor oriunda dos usuários fica acima do previsto em projeto, ou seja, há maior produção de calor, que pode dificultar a climatização natural e resultar em desconforto térmico, em situações mais severas de temperatura do ar externo, na condição de verão;

Quanto às características da ocupação, as informações abaixo foram obtidas com a diretora da Escola, Profa. Maria Teresinha de Oliveira Medeiros, em junho de 2010. Em suma, no ano de 2010, a Escola atendeu a cerca de 187 alunos, de 1<sup>a</sup> a 8<sup>a</sup> séries, funcionando em dois turnos (manhã e tarde). As salas de aula possuem uma ocupação de em torno de 40 alunos. O quadro funcional da escola, conta com 4 funcionários administrativos (1 merendeira, 1 servente e 2 porteiras) e 12 professores.

### 3.3 COLETA DE DADOS

A pesquisa utiliza fontes de evidência de *análise documental* (projeto arquitetônico, documentos e artigos) e *medições físicas*.

#### 3.3.1 Medições

##### 3.3.1.1 Instrumentação

Foram realizadas medições físicas com equipamentos eletrônicos do tipo *data loggers*, modelo *LogBox-RHT* e *LogBox-RHT-LCD* (com visor de *LCD*), de dois canais, com sensores de temperatura e umidade relativa integrados (Figura 24). Os sensores utilizados eram todos de aquisição da empresa NOVUS, adquiridos especificamente para este estudo.

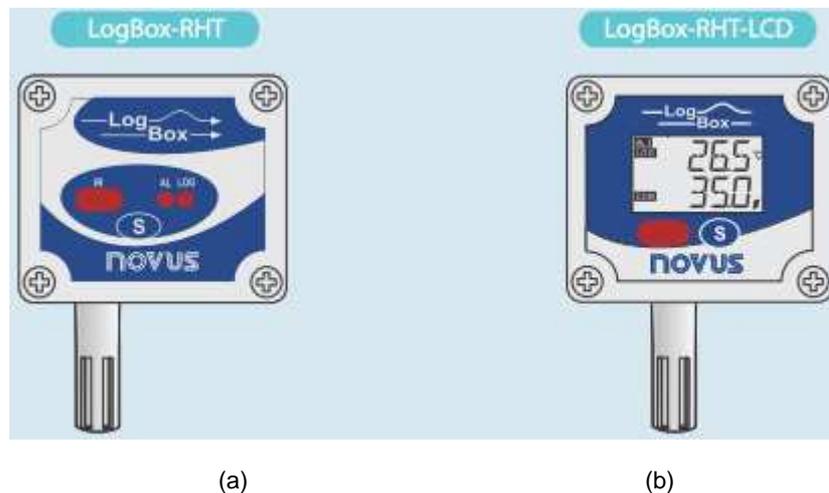


Figura 24: equipamentos *data loggers*; (a) modelo *LogBox-RHT* (b) modelo *LogBox-RHT-LCD*. Fonte: NOVUS

Os equipamentos são configurados através de interface de comunicação, conectada à porta *USB* do computador e, a coleta, plotagem, análise e exportação dos registros é realizada através do software *LogChart II*.

Os sensores utilizados nos equipamentos são do modelo *SHT11*, da empresa *Sensirion*<sup>24</sup> e, integram a família de sensores *SHT1x* (temperatura e umidade relativa), que inclui os modelos *SHT10*, *SHT11* e *SHT15*. A acuidade do sensor, para umidade relativa, é de 3,0K, para mais ou para menos e, para a temperatura, é de 0,4°C, para mais ou para menos (Figura 25).

<sup>24</sup> The Sensor Company. [www.sensirion.com](http://www.sensirion.com)

### Relative Humidity

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution <sup>1</sup>		0.4	0.05	0.05	%RH
		8	12	12	bit
Accuracy <sup>2</sup> SHT10	typical		±4.5		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy <sup>2</sup> SHT11	typical		±3.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Accuracy <sup>2</sup> SHT15	typical		±2.0		%RH
	maximal	see Figure 2			
Repeatability			±0.1		%RH
Replacement	fully interchangeable				
Hysteresis			±1		%RH
Nonlinearity	raw data		±3		%RH
	linearized		<<1		%RH
Response time <sup>3</sup> $\tau$ (63%)			8		s
Operating Range		0		100	%RH
Long term drift <sup>4</sup>	normal		< 0.5		%RH/yr

(a)

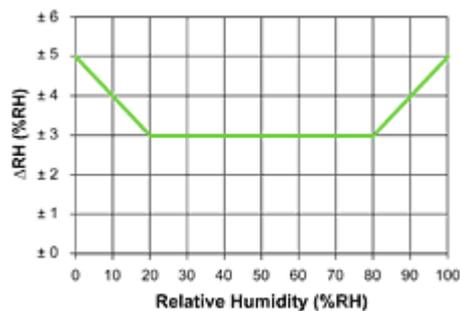
### Temperature

Parameter	Condition	min	typ	max	Units
Resolution <sup>1</sup>		0.04	0.01	0.01	°C
		12	14	14	bit
Accuracy <sup>2</sup> SHT10	typical		±0.5		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy <sup>2</sup> SHT11	typical		±0.4		°C
	maximal	see Figure 3			
Accuracy <sup>2</sup> SHT15	typical		±0.3		°C
	maximal	see Figure 3			
Repeatability			±0.1		°C
Replacement	fully interchangeable				
Operating Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time <sup>6</sup> $\tau$ (63%)		5		30	s
Long term drift			< 0.04		°C/yr

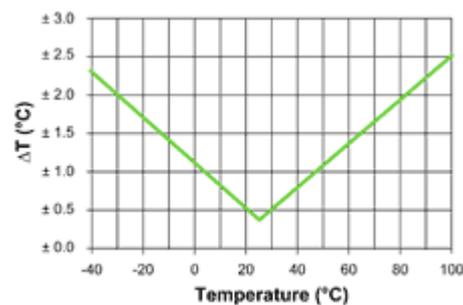
(b)

Figura 25: desempenho dos sensores; (a) umidade relativa (b) temperatura<sup>25</sup>. Fonte: Sensirion

Os sensores do modelo SHT11 têm máxima precisão para determinadas faixas ou valores-padrão: umidade relativa, entre 20% e 80% e, temperatura, em 25°C (Figura 26).



(a)



(b)

Figura 26: máxima precisão; (a) umidade relativa (b) temperatura<sup>26</sup>. Fonte: Sensirion

Os sensores funcionam estáveis dentro da faixa de normalidade. As condições de normalidade situam-se, relativamente a temperaturas, entre -20°C e 60°C e, quanto à umidade relativa, entre 0% e 95% (Figura 27). Exposições que excedam às condições de

<sup>25</sup> Testados para a temperatura-padrão de 25°C. Fonte: SENSIRION. **DataSheet SHT1x: Humidity and Temperatura Sensor**. Version 4.1. 2008. Catálogo fornecido pela Empresa NOVUS, fabricante dos aparelhos data loggers.

<sup>26</sup> [www.sensirion.com/en/01\\_humidity\\_sensors/02\\_humidity\\_sensor\\_sht11.htm](http://www.sensirion.com/en/01_humidity_sensors/02_humidity_sensor_sht11.htm). Acessado em: 21 de setembro de 2010 às 12 horas.

normalidade e à longo prazo, especialmente, em caso de UR acima de 80%, podem, temporariamente, descompensar o sinal de UR, que retorna à normalidade por si só, regressando para o estado de calibração.

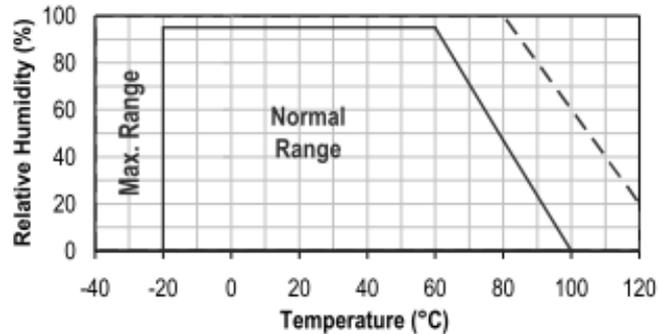


Figura 27: condições de operação dos sensores. Fonte: Sensirion

### 3.3.1.2 Amostra

Foram utilizados seis medidores, dois destes, no modelo *LogBox-RHT-LCD* e o restante, no modelo *LogBox-RHT*. Em cada uma das duas instituições de ensino foram instalados três medidores, dois nas salas de aula analisadas e um na circulação, o qual é considerado como referência da condição de exterior. Todos os sensores foram programados para iniciar as medições às 0h do dia 12 de Janeiro de 2010.

Inicialmente, nas salas de aula foram instalados dois medidores à mesma altura e em posições distintas, que foram denominados *sensor interno* e *sensor teste 1*, com o objetivo de identificar possíveis diferenças de valores nos dados coletados. Embasado nos resultados iniciais, verificou-se não ser necessário a presença de dois medidores nas salas de aula, pois não foi observada qualquer distinção significativa nos resultados, ficando dentro da faixa de erro característica dos sensores.

Procedeu-se, então, à verificação dos sensores, quando posicionados em alturas distintas, estando na mesma posição em planta, na sala estudada (*sensor interno* e *sensor teste 2*). Este experimento teve de ser feito em período de férias letivas, em razão da posição dos medidores em sala de aula ser conflitante com a de seus usuários.

A seguir, a descrição da posição e localização dos sensores (*sensor interno* e *externo*), nos estudos de caso e, posteriormente, a descrição dos *sensores teste*.

#### *Centro de Educação Centro de Educação Profissional do Vale do Caí*

Os sensores no interior do edifício foram instalados a 3,00m do piso e, no exterior do edifício (circulação), a 2,30m do piso. O sensor teste (1) foi colocado em posição distinta, porém em

mesmo nivelamento (3,00m) e, neste caso, não foi possível testar a posição do sensor em altura distinta (em razão da obra de reconstrução do telhado que teve início em agosto/2010). A Figura 28 ilustra a localização dos sensores interno e externo e do sensor teste, em corte e na planta baixa da sala de aula, respectivamente. A posição distinta do sensor externo e do sensor interno foi determinada pela dificuldade de fixação do sensor externo, em decorrência da inclinação do telhado e da geometria de distribuição dos apoios existentes no madeiramento.

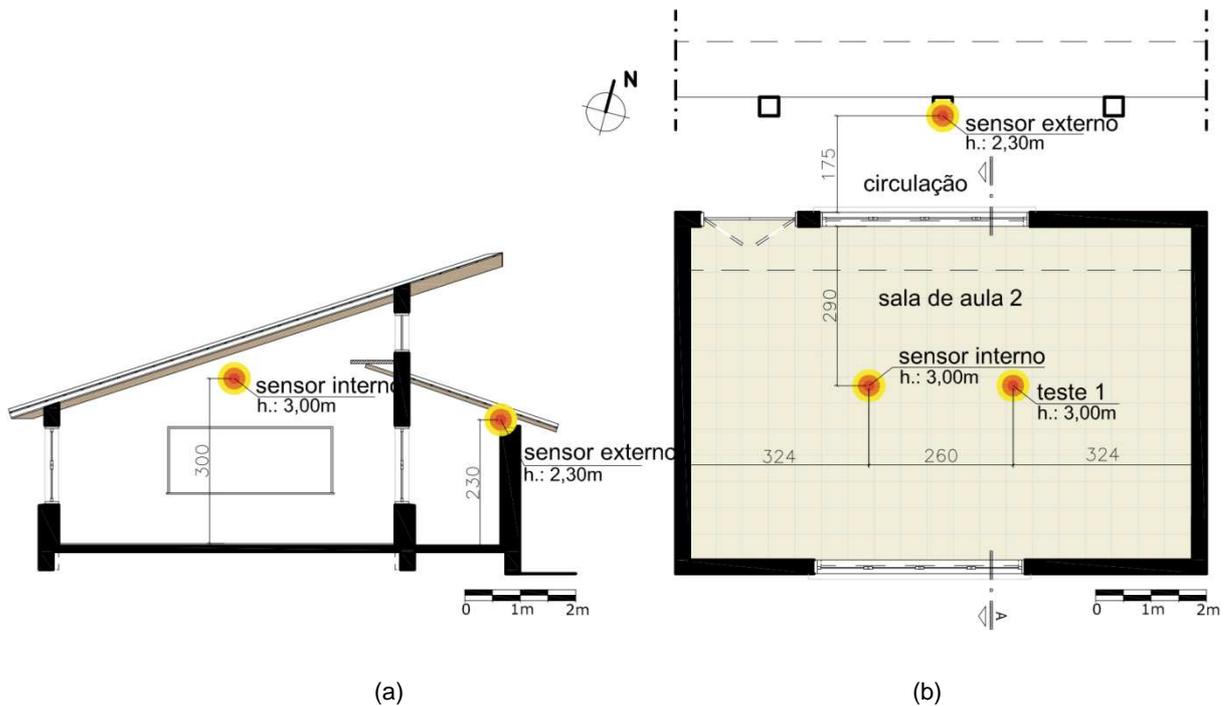


Figura 28: localização dos sensores (a) corte (b) planta baixa – CPVAC

### *Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico*

Os sensores, no interior do edifício, foram instalados a 3,00m do piso e, no exterior do edifício (circulação), a 2,30m do piso. O sensor teste (1) foi colocado em posição distinta, porém em mesmo nivelamento (3,00m) e, posteriormente, como sensor identificado como teste (2), em mesma posição em planta, mas em altura distinta (1,10m). A Figura 29 ilustra a localização dos sensores interno e externo e dos sensores testes, no corte e na planta baixa da sala de aula, respectivamente. A posição distinta do sensor externo e do sensor interno, da mesma forma que na Escola Frei Pacífico, foi determinada pela dificuldade de fixação do sensor externo, pelas mesmas razões.

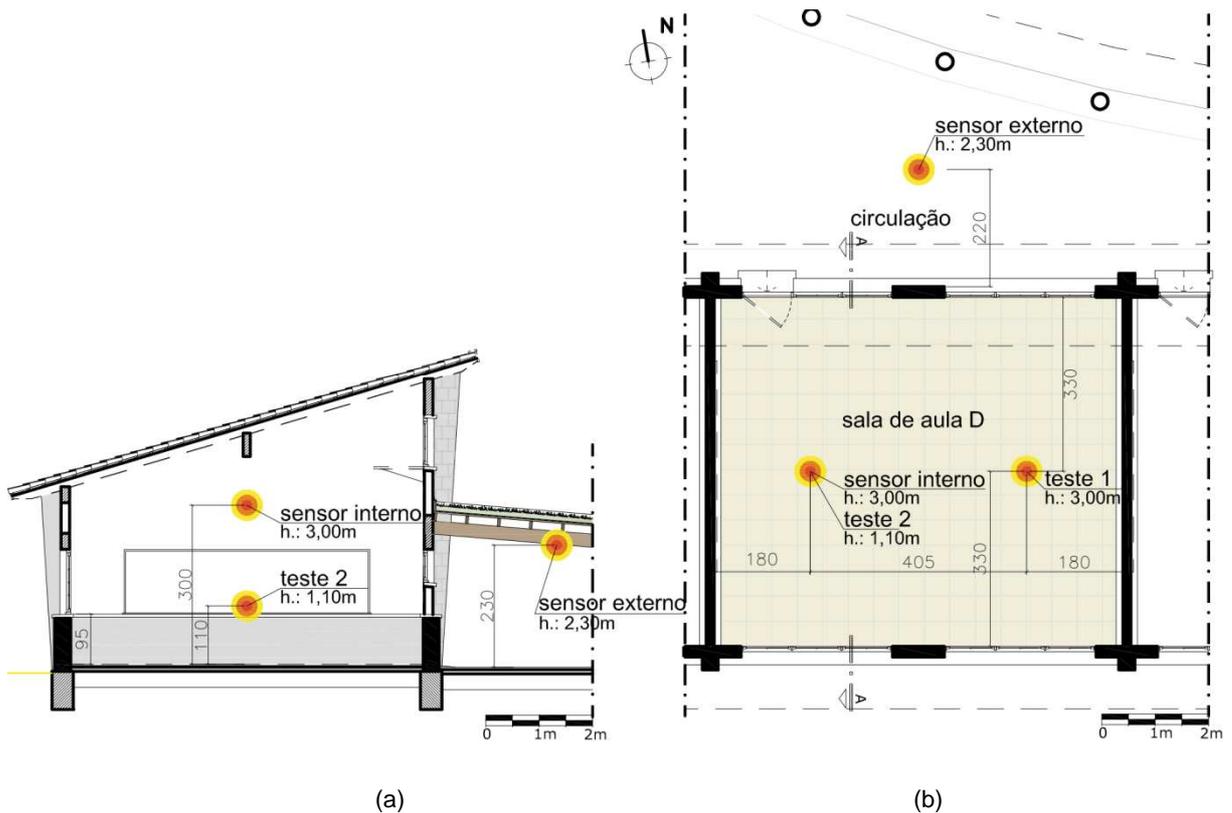


Figura 29: localização dos sensores (a) corte (b) planta baixa – Frei Pacífico

Os resultados dos *sensores teste* são apresentados a seguir.

#### *Sensores posicionados à mesma altura e posição distintas*

Para demonstração, utilizou-se a média da temperatura e umidade relativa, no período do outono. A média da temperatura e umidade relativa, respectivamente, para o sensor utilizado no monitoramento e o teste, foi, respectivamente, de [20,4°C e 73,2%] e [20,4 e 75,3%], na Frei Pacífico, e de [20,3°C e 74,6%] e [20,3°C e 75,9%], no CPVAC. Estes resultados demonstraram que as temperaturas foram similares e, apenas houve pequena variação nos valores de umidade relativa, dentro da acurácia dos sensores. Foi identificado um comportamento linear nos resultados medidos para essa variável, onde os sensores teste, dispostos em uma posição na parte posterior da sala de aula (longe da porta), registraram dados superiores, os quais, no entanto, ainda se localizaram dentro da margem de erro do equipamento.

### *Sensores posicionados à mesma posição e alturas distintas*

A ISO 7726<sup>27</sup> (1998), norma que orienta a medição de quantidades físicas em ambientes térmicos, estabelece que, em ambientes não homogêneos, a temperatura deve ser medida em três patamares (níveis dos tornozelos, abdômen e cabeça), para pessoas sentadas, 0,1m, 0,6m e 1,1m respectivamente, enquanto que para pessoas em pé, as alturas devem ser 0,1m, 1,1m e 1,7m, respectivamente (Suzuki e Prado, 2010).

Foram utilizados dois sensores nas medições: o sensor sendo utilizado a 3m de altura, e o sensor denominado teste 2, fixado a 1,10m de altura. O experimento buscou identificar se haveria diferença nos dados coletados, em função da utilização de alturas não recomendadas em normas, mas que, usualmente, tem se repetido em diversos trabalhos científicos, em função da segurança dos aparelhos nos ambientes que, normalmente, estão em utilização pelos seus usuários.

Os dados foram verificados somente para a Escola Frei Pacífico e não puderam ser verificados no CPVAC, em razão das obras de reconstrução do telhado, conforme mencionado anteriormente.

Os gráficos abaixo, de temperatura e umidade relativa do ar (Figura 30 e 31), correspondem a um período de coleta de dados de 23 dias, em que são ilustrados os perfis dos dois sensores.

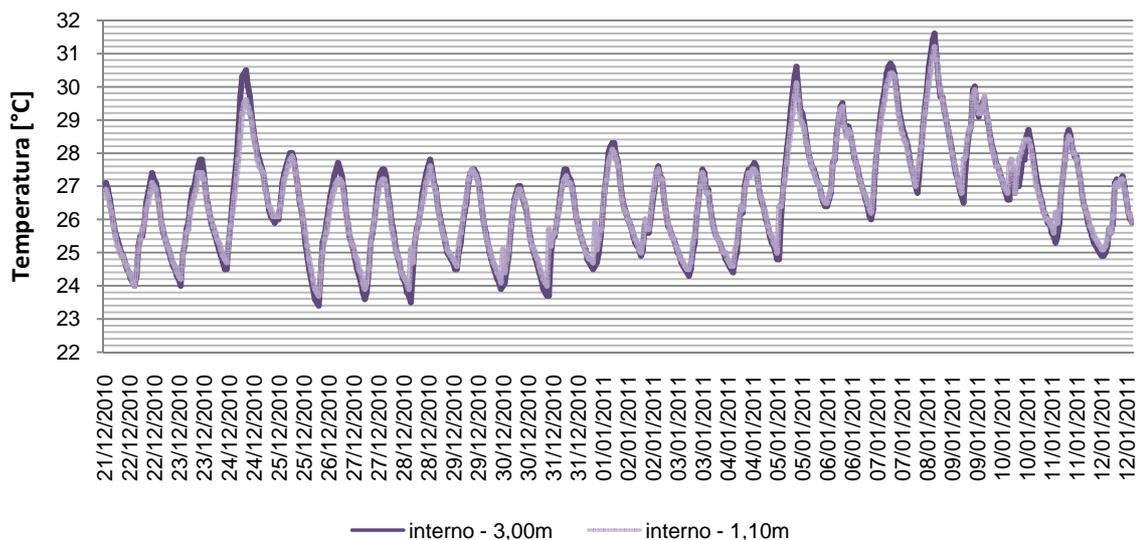


Figura 30: análise da temperatura para sensores em alturas distintas – Frei Pacífico

<sup>27</sup> ISO 7726: Ergonomics of thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. Suíça, 1998. 66 p.

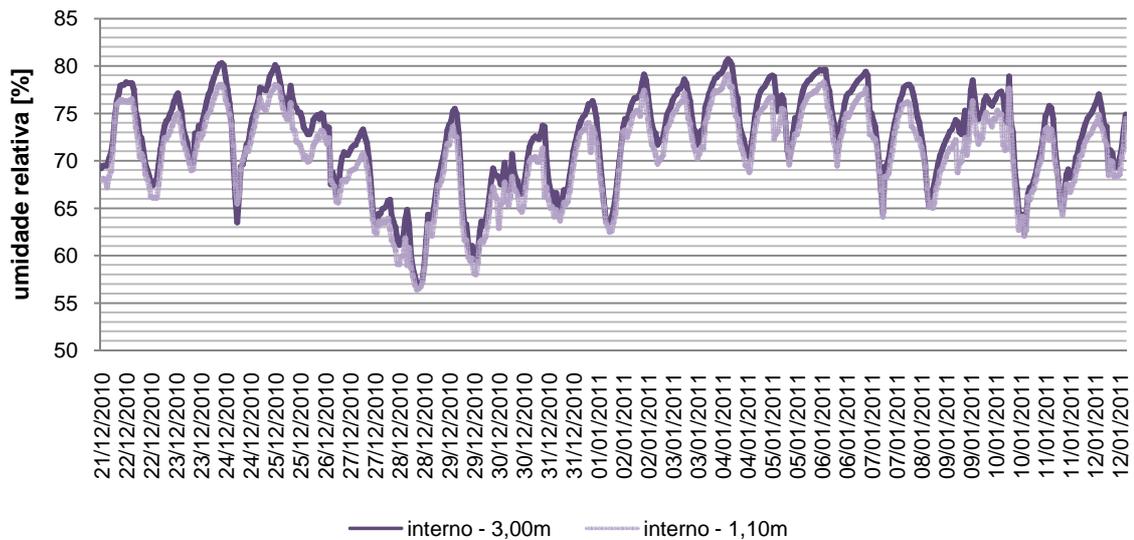


Figura 31: análise da umidade relativa para sensores em alturas distintas – Frei Pacífico

Identificou-se que o sensor utilizado na pesquisa (3,00m) teve uma amplitude maior de variação de temperaturas, em relação ao sensor teste (1,10m). Esta amplitude foi registrada constantemente durante o monitoramento, com variação de 0,2K, para valores mínimos e máximos de temperatura e, se comparada com a acurácia dos sensores, de  $\pm 0,4K$ , esteve abaixo da variação admitida como precisão do sensor.

Observou-se que a curva dos valores máximos de umidade relativa do sensor utilizado na pesquisa (3,00m) ficou deslocada para cima, registrando valores de umidade relativa, ininterruptamente, acima dos valores do sensor teste (1,10m). Este deslocamento da curva teve variação, em média, de 0,3% que, se comparada com a acurácia do sensor, de  $\pm 3,0\%$ , esteve dentro dos valores admissíveis.

Disso resultou que, para os valores encontrados nos gráficos, a temperatura média deste período foi de 26,6°C, para os dois sensores; e a umidade relativa apresentou variação maior, com 72,4%, para o sensor utilizado nas medições e 70,7%, para o sensor teste.

Em suma, houve variação da temperatura e umidade relativa quando os instrumentos de coleta de dados foram dispostos em alturas distintas. Estes resultados seriam esperados em função do deslocamento do ar quente e saturado para próximo ao forro, em razão de seu menor peso. No entanto, isto não foi observado no caso, pois a diferença encontrada foi inferior à acurácia dos sensores. No entanto, entende-se que há necessidade de estudos mais aprofundados, com sensores fixados em diversas alturas. É importante também avaliar cada ambiente individualmente, em razão da influência das esquadrias e aberturas, que pode interferir nos resultados, não se aplicando uniformemente para todas as pesquisas.

*Período de coleta de dados*

O período de coleta de dados teve início em 12 de janeiro de 2010 e foi finalizado, para o CPVAC, em 16 de agosto de 2010, em razão das obras de reforma do telhado e, para a Frei Pacífico, em 11 de janeiro de 2011, estabelecendo, nesta, um período de medições de um ano. Durante o monitoramento das edificações houve problemas com os instrumentos de medição, resultando em alguns dados faltantes. A Tabela 9 indica o histórico da coleta de dados, com o período e o número de horas de monitoramento, em cada escola, por estação do ano, assim como os períodos não cobertos pelo monitoramento.

Tabela 9: histórico da coleta de dados

	Escola	Sensor	Período de coleta de dados	Dias monitorados	Dias validados	Nº de horas (por variável)	Nº de horas validadas	Observação
verão	CPVAC	interno	12 Jan-19 Mar	67 dias	67 dias	1608	1608	-
		externo						
	FP	interno	12 Jan-19 Mar	67 dias	67 dias	1608	1608	-
		externo						
Outono	CPVAC	interno	20 Mar-20 Jun	93 dias	90 dias	2232	2160	Problema no sensor ext. [72 horas]
		externo		90 dias				
	FP	interno	20 Mar-20 Jun	93 dias	90 dias	2232	2160	-
		externo						
Inverno	CPVAC	interno	21 Jun-16 Ago	56 dias, 9 h.	56 dias, 9 h.	1353	1353	Remoção dos sensores
		externo						
	FP	interno	21 Jun-22Set	94 dias	94 dias	2256	2256	-
		externo						
Primavera	CPVAC	interno	Não coletado	-	-	-	-	Obras de reforma do telhado.
		externo						
	FP	interno	23 Set-20 Dez	89 dias	19 dias / 21 h.	2136	2136	Problema no sensor ext. [1659 horas]
		externo		19 dias, 21h.				
anual	CPVAC	-	12Jan-16Ago	216 dias, 9 h.	213 dias, 9 h.	5193	5121	-
	FP	-	12Jan-11Jan	365dias	361dias, 22h. 292 dias, 6h.	8758 7086	8686 7014	realizou-se a coleta de 21dez-11Jan, para análise anual [513 h. ext e 526 h. int.]

\* Frei Pacífico (FP)

O período de verão compreendeu o registro de dados do dia 12 de janeiro até 19 de março 2010 (datas em que foram iniciadas as medições e coletada a primeira série de registros, respectivamente). Foram monitoradas, neste período, 1608 horas.

Caracterizando o período de outono, foram coletados dados do dia 20 de março a 20 de junho de 2010. Neste período, no Centro de Educação Profissional do Vale do Caí, o sensor externo apresentou dados incoerentes de temperatura e umidade relativa, por um período seqüencial de 72 horas. Estes dados foram descartados, para ambas as escolas, visando estabelecer um referencial temporal comparativo comum para as medições. Foram validadas para análise 2160 horas.

Identificando o período de inverno, foram coletados dados do dia 21 de junho a 16 de agosto de 2010, para o Centro de Educação Profissional do Vale do Caí. O término da coleta, antecipadamente, deveu-se ao início das obras de reforma do telhado, que requereu a remoção dos equipamentos de medição e a finalização da coleta de dados nesta escola. Foram validadas para análise 1353 horas. Para a Escola Frei Pacífico, o período amostrado se estendeu do dia 21 de junho a 22 de setembro de 2010 e foram monitoradas 2256 horas.

Na primavera foram coletados registros do dia 23 de setembro a 20 de dezembro de 2010, para Escola Frei Pacífico. O sensor externo apresentou dados incoerentes de temperatura e de umidade relativa, validando somente 477 horas para a análise do desempenho térmico. O sensor interno teve a coleta de dados integral, correspondente a 2136 dados.

Em suma, este trabalho monitorou o desempenho térmico das edificações analisadas por um período de 5.121 horas, para o CPVAC e de 8.686 horas, para a Frei Pacífico considerando o sensor interno, e 7014 horas, considerando o sensor externo.

### 3.4 DADOS CLIMÁTICOS COMPARATIVOS: PORTO ALEGRE, FELIZ E ITAPUÃ

A disponibilidade e o volume de dados climáticos para o município de Porto Alegre subsidiam pesquisas e trabalhos. No entanto, a aplicabilidade e legitimidade destes dados em municípios do entorno é desconhecida. Aqui, serão apontados, comparativamente e para fins de ilustração, em forma simplificada, alguns dados climáticos obtidos no monitoramento *in loco* dos estudos de caso, com dados brutos, disponibilizados via Internet, para o município de Porto Alegre, resultantes de uma estação meteorológica automática<sup>28</sup>, considerando o mesmo período (2010).

A Tabela 10 ilustra, comparativamente, as temperaturas e umidades relativas mínimas, médias e máximas, por estação do ano, para Porto Alegre, Feliz (CPVAC) e Itapuã (Frei Pacífico).

---

<sup>28</sup> <http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>. Estação automática PORTO ALEGRE – A801.

Para o verão, a mínima temperatura em Porto Alegre, Feliz e Itapuã, foi, respectivamente, 13,9°C, 14,4°C e 15,5°C; a máxima temperatura foi, respectivamente, 38,2°C, 40,9°C e 38,2°C. Para o inverno, a mínima temperatura em Porto Alegre, Feliz e Itapuã, foi, respectivamente, 3,5°C, 3,2°C e 5,8°C; a máxima temperatura foi, respectivamente, 29,2°C, 31,4°C e 31,3°C. Considerando o período anual, as temperaturas, para Porto Alegre, variaram de 3,5°C a 38,3°C; para Feliz, variaram de 3,2°C a 40,9°C; e para Itapuã, variaram de 5,8°C a 38,2°C.

Observa-se que as temperaturas mínimas em Porto Alegre e Feliz foram próximas, enquanto que, em Itapuã, foram levemente mais elevadas. As temperaturas máximas em Porto Alegre e Itapuã foram próximas, enquanto que, em Feliz, foram levemente mais elevadas.

Para o verão, a umidade relativa mínima em Porto Alegre, Feliz e Itapuã, foi, respectivamente, 30%, 30,7% e 34,9%; a umidade relativa máxima foi, respectivamente, 94%, 92% e 91%. Para o inverno, a umidade relativa mínima em Porto Alegre, Feliz e Itapuã, foi, respectivamente, 33%, 35,5% e 35,9%; a umidade relativa máxima foi, respectivamente, 95%, 95% e 94,9%. Considerando o período anual, as umidades relativas, para Porto Alegre, variaram de 22,4% a 96%; para Feliz, variaram de 24,1% a 95,1%; e para Itapuã, variaram de 34,9% a 94,9%.

Nota-se que a umidade relativa em Itapuã difere levemente das demais, no que concerne aos: valores de umidade relativa mínimos, sendo em Itapuã mais elevados; já, os valores de umidade relativa máximos são semelhantes aos de Feliz e Porto Alegre.

Tabela 10: valores mínimos, médios e máximos comparativos de temperatura e umidade relativa, por estações do ano, para condições externas.

		Porto Alegre / Feliz (Cpvac) / Itapuã (Frei Pacífico)					
		T (°C)			U.R. (%)		
		Porto Alegre	Feliz	Itapuã	Porto Alegre	Feliz	Itapuã
verão	Mínima	13,9	14,4	15,5	30,0	30,7	34,9
	Média	25,0	25,7	26,1	73,6	74,4	74,2
	Máxima	38,2	40,9	38,2	94,0	92,0	91,2
outono	Mínima	7,5	7,5	10,0	35,0	24,1	51,0
	Média	18,4	18,7	19,7	79,7	81,7	79,0
	Máxima	33,0	36,8	32,6	96,0	95,1	93,7
inverno	Mínima	3,5	3,2	5,8	33,0	35,5	35,9
	Média	14,5	14,4	15,7	78,9	79,1	78,8
	Máxima	29,8	31,4	31,3	95,0	95,0	94,9
primavera	Mínima	8,7	-	10,7	22,4	-	44,7
	Média	19,9	-	18,4	72,8	-	74,5
	Máxima	34,9	-	26,4	95,0	-	90,3
anual	Mínima	3,5	3,2	5,8	22,4	24,1	34,9
	Média	20,2	19,7	19,8	75,8	78,7	77,1
	Máxima	38,2	40,9	38,2	96,0	95,1	94,9

Para Porto Alegre, exceto dados do mês de agosto

A Tabela 11 ilustra, comparativamente, as temperaturas e umidades relativas mínimas, médias e máximas mensais para Porto Alegre, Feliz (CPVAC) e Itapuã (Frei Pacífico). As temperaturas mínimas foram registradas no mês de julho e as temperaturas máximas foram registradas no mês de fevereiro. As umidades relativas mínimas foram registradas, em Porto Alegre, no mês de outubro; em Feliz, no mês de abril e em Itapuã, no mês de março; as umidades relativas máximas foram registradas, em Porto Alegre, no mês de maio; em Feliz e em Itapuã, no mês de junho.

Tabela 11: valores mínimos, médios e máximos comparativos de temperatura e umidade relativa, mensais, para condições externas.

Porto Alegre / Feliz (Cpvac) / Itapuã (Frei Pacífico)														
		T (°C)												
		jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago	set	out.	nov.	dez.	anual
<b>Porto Alegre</b>	Mín.	17,8	14,0	13,9	9,5	10,2	4,5	3,5	-	-	8,7	11,0	11,9	3,5
	Média	24,7	26,3	23,4	20,1	17,2	14,9	14,5	-	-	18,0	20,7	23,3	20,2
	Max.	34,0	38,2	32,6	33,0	25,3	26,9	29,8	-	-	27,5	34,9	35,0	38,2
<b>Feliz</b>	Mín.	17,2	15,0	14,4	11,1	10,5	5,8	3,2	4,0	-	-	-	-	3,2
	Média	25,3	26,8	24,5	20,5	17,1	15,1	15,2	11,9	-	-	-	-	19,7
	Max.	35,7	40,9	38,5	36,8	28,9	28,7	31,4	24,3	-	-	-	-	40,9
<b>Itapuã</b>	Mín.	18,9	16,1	15,5	11,5	12,5	7,1	5,8	6,2	10,5	10,7	-	-	5,8
	Média	25,7	27,3	24,5	21,4	18,6	15,8	15,1	14,9	17,9	18,2	-	-	19,8
	Max.	33,6	38,2	31,8	32,6	26,4	26,9	30,6	31,3	26,1	26,4	-	-	38,2
		U.R. (%)												
<b>Porto Alegre</b>	Mín.	35,0	32,0	30,0	35,0	39,0	36,0	33,0	-	-	22,0	25,0	28,0	22,0
	Média	74,5	71,7	76,9	75,6	83,2	80,0	78,0	-	-	72,9	71,8	71,1	75,8
	Max.	94,0	94,0	95,0	95,0	96,0	95,0	95,0	-	-	95,0	95,0	95,0	96,0
<b>Feliz</b>	Mín.	43,0	33,9	30,7	24,1	39,4	46,9	35,5	41,7	-	-	-	-	24,1
	Média	76,4	73,9	75,9	78,2	84,8	82,8	78,7	78,1	-	-	-	-	78,7
	Max.	89,9	92,0	91,1	94,1	94,1	95,1	95,0	91,7	-	-	-	-	95,1
<b>Itapuã</b>	Mín.	44,4	42,7	34,9	45,8	44,5	45,1	35,9	36,4	43,7	44,7	-	-	34,9
	Média	74,7	73,4	77,1	73,9	81,2	79,7	78,3	78,7	78,8	70,9	-	-	77,1
	Max.	91,2	89,4	92,1	93,0	92,6	94,9	93,8	91,9	92,5	90,3	-	-	94,9

As Figuras 32 (temperatura) e 33 (umidade relativa) têm por objetivo ilustrar graficamente as diferenciações climáticas apontadas na tabela anterior, quanto aos valores dos elementos climáticos monitorados, no período, nos municípios em questão. A Figura 32 ilustra dados mensais mínimos e máximos de temperatura e a Figura 33 ilustra os dados mensais mínimos e máximos de umidade relativa. Ratificam-se, graficamente: oscilações térmicas maiores em Feliz, seguidas por Porto Alegre e, em menor grau, em Itapuã; e as umidades relativas mínimas em Itapuã superiores às dos demais municípios.

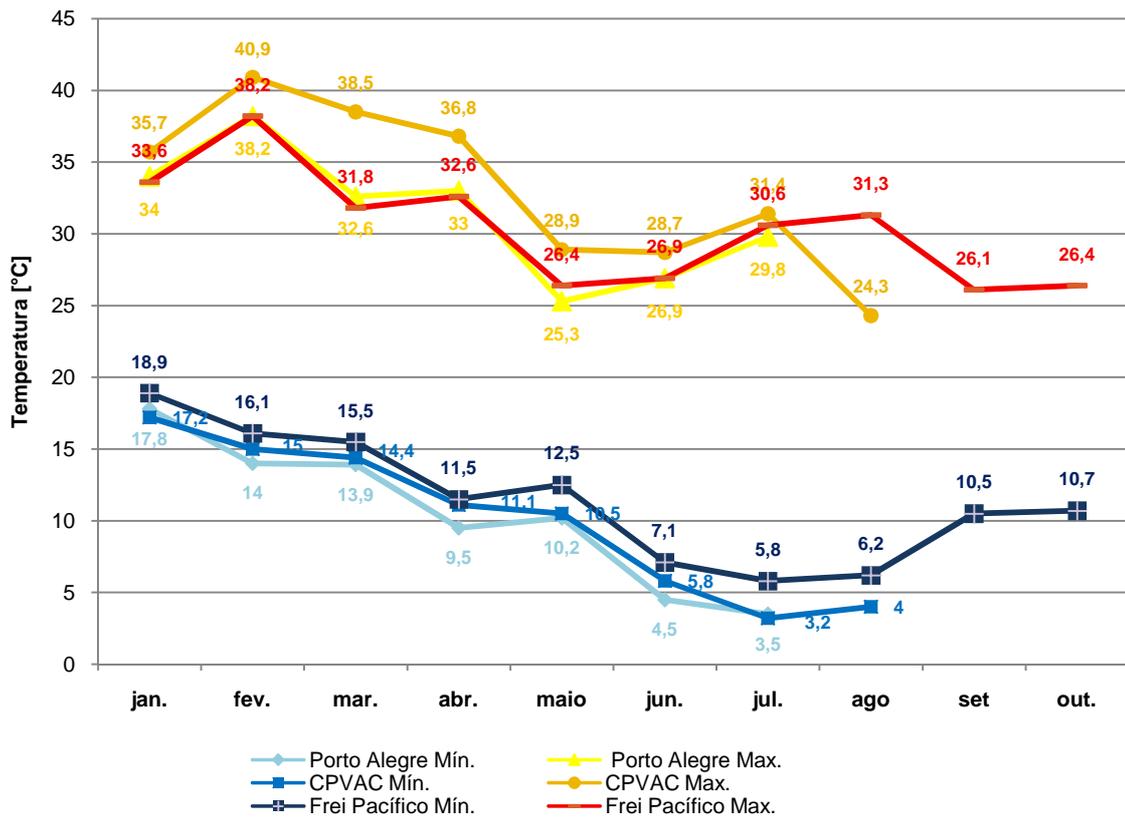


Figura 32: valores mensais mínimos e máximos de temperatura, em Porto Alegre, Feliz (CPVAC) e Itapuã (Frei Pacífico)

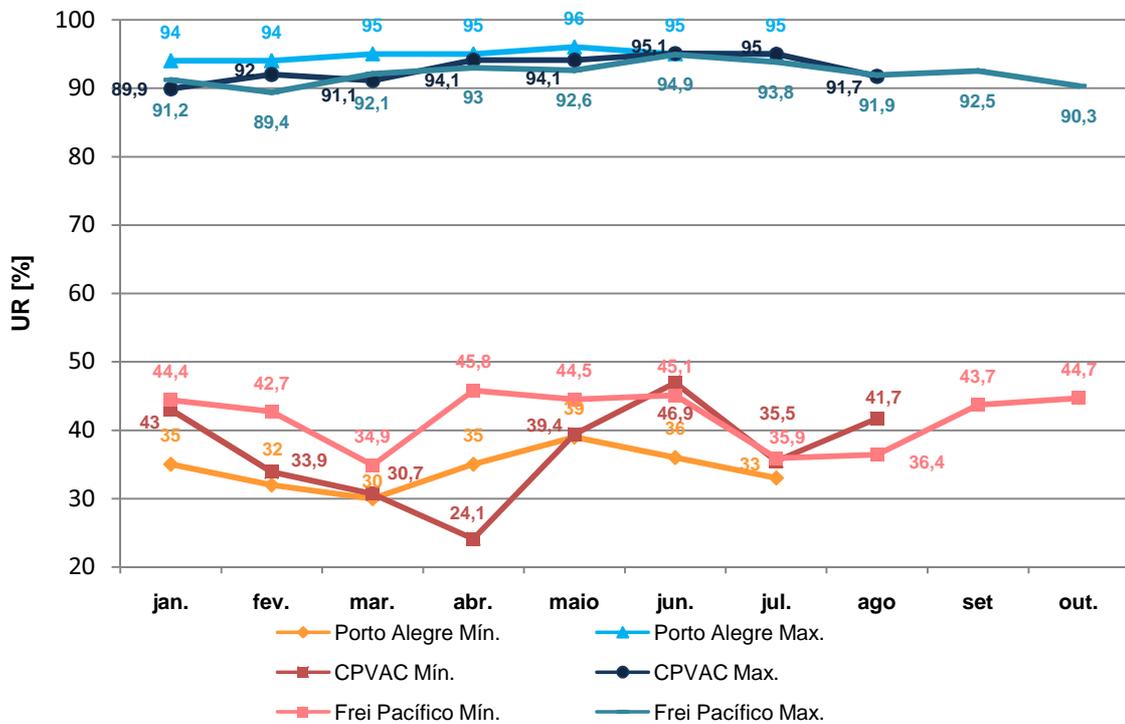


Figura 33: valores mensais mínimos e máximos de umidade relativa, em Porto Alegre, Feliz (CPVAC) e Itapuã (Frei Pacífico)

As Figuras 34 e 35 ilustram as oscilações de temperatura. A Figura 34 apresenta o comparativo entre as temperaturas de Porto Alegre e Itapuã (Frei Pacífico); observa-se que Porto Alegre apresenta oscilações maiores de temperatura. A Figura 35 apresenta o comparativo entre as temperaturas de Porto Alegre e Feliz (CPVAC); neste caso é a municipalidade de Feliz que apresenta oscilações maiores de temperatura.

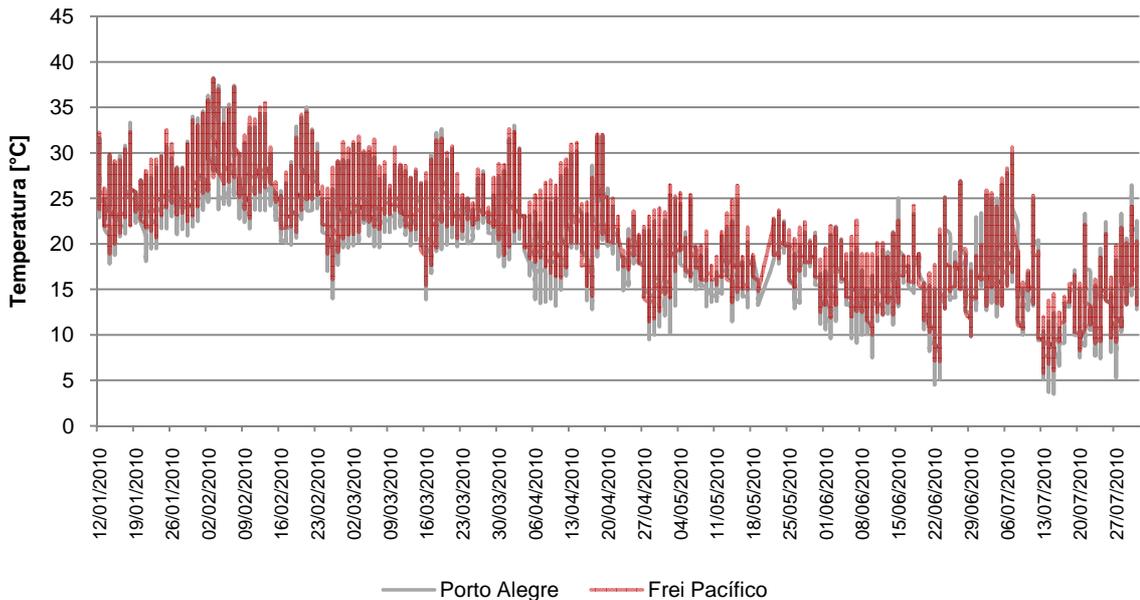


Figura 34: comparativo das oscilações de temperatura para Porto Alegre e Itapuã (Frei Pacífico)

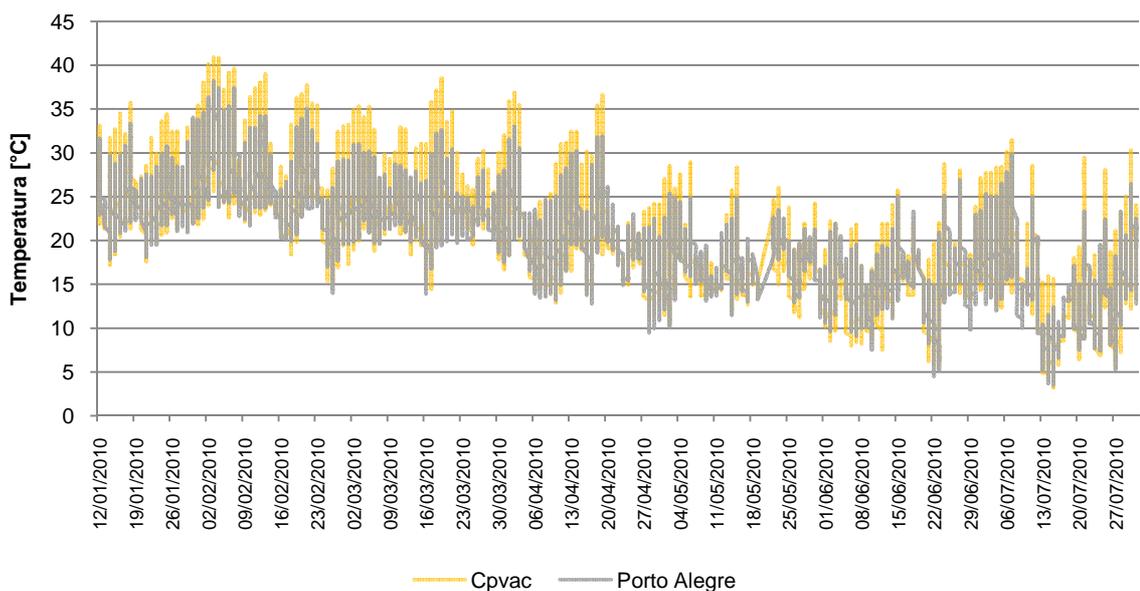


Figura 35: comparativo das oscilações de temperatura para Porto Alegre e Feliz (CPVAC)

As Figuras 36 e 37 demonstram as oscilações de umidade relativa. A Figura 36 apresenta o comparativo entre as umidades relativas de Porto Alegre e Itapuã (Frei Pacífico); nota-se que os valores mínimos de umidade para Itapuã estão acima dos mínimos para Porto Alegre. A Figura 37 apresenta o comparativo entre as umidades relativas de Porto Alegre e Feliz (CPVAC); neste caso as mínimas variam, ora Porto Alegre, ora Feliz, apresentam os valores mínimos absolutos.

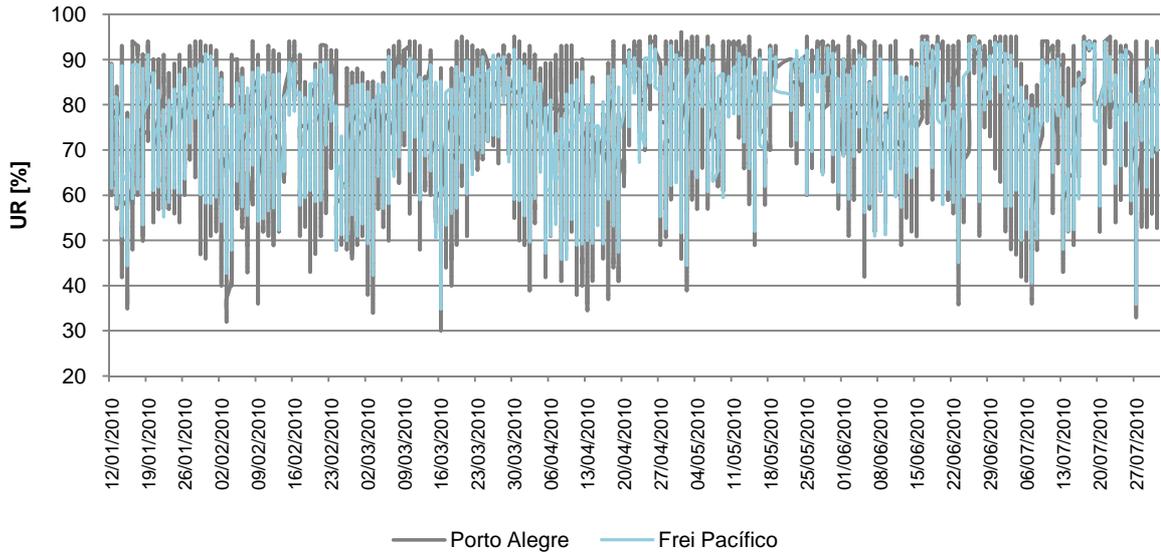


Figura 36: comparativo das oscilações de umidade relativa para Porto Alegre e Itapuã (Frei Pacífico)

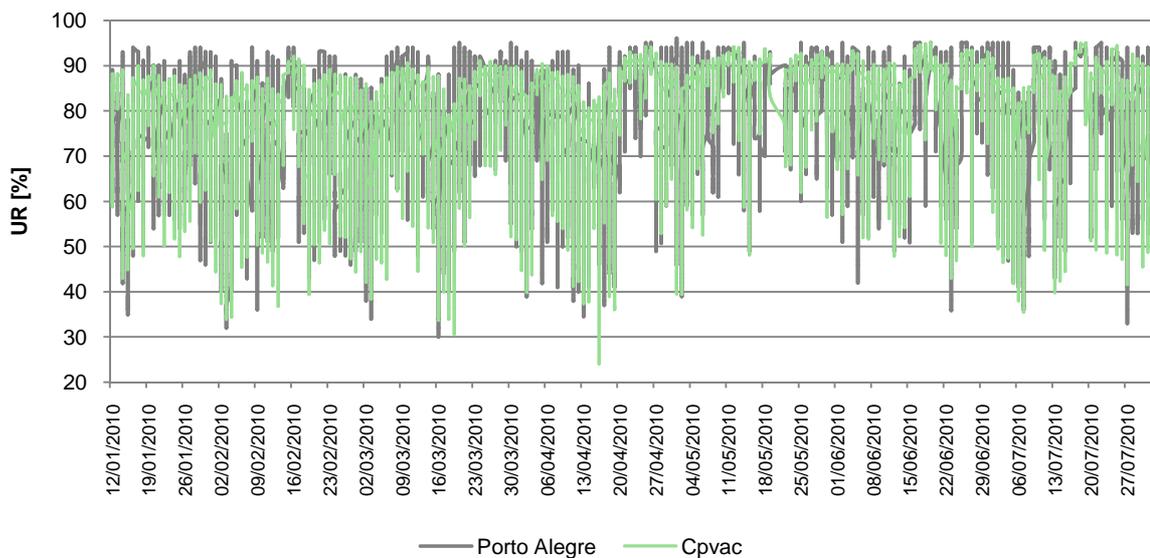


Figura 37: comparativo das oscilações de umidade relativa para Porto Alegre e Feliz (CPVAC)

Em suma, comparativos climáticos são bastante complexos, necessitam de um período longo de coleta de dados e demandam a análise de outras variáveis climáticas para que possa se determinar sua aplicabilidade a outras regiões. No entanto, a partir dos dados apresentados é possível identificar algumas semelhanças e diferenças no clima atuante destas regiões, que poderão subsidiar futuras análises.

O município de Porto Alegre apresenta similaridades com as duas regiões (Feliz e Itapuã). Feliz. No entanto, apresenta oscilações térmicas maiores do que o Itapuã, que mantém as temperaturas mais constantes, com menor oscilação térmica. Conforme Tubelo e Sattler (2010), tal fato pode ser associado ao microclima da região de Itapuã, próximo à enorme massa d'água da Lagoa dos Patos e também do Lago Guaíba e suas influências, como determinante de atenuações climáticas. Assim, pode-se observar que para as condições de proximidade com esta massa d'água interferiram nas condições climáticas: as maiores oscilações de temperatura foram registradas mais distantes dessas massas, no município de Feliz; as menores oscilações de temperatura, para a localidade mais próxima a elas, em Itapuã; Porto Alegre apresentou condição intermediária. Ainda, é pertinente que Itapuã, devido à interferência e proximidade efetiva de grandes massas d'água, apresente índices mínimos de umidade superiores aos das outras localidades.

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO NO VERÃO

#### 4.1.1 Centro de Educação Profissional do Vale do Caí

As medições do verão foram desenvolvidas das 0h, do dia 12 de janeiro de 2010, até as 23h, do dia 19 de março de 2010. Foram realizadas 1608 aquisições, durante os 67 dias monitorados. O período de ocupação<sup>29</sup> do edifício correspondeu a 195 aquisições.

##### 4.1.1.1 Temperatura do ar

O menor valor de temperatura ocorreu no dia 17 de março, às 7 horas (6h36min, hora solar<sup>30</sup>), registrando, externamente, 14,4°C e, internamente, 19,8°C. O menor valor diário, internamente, foi de 19,6°C, às 8 horas. O amortecimento térmico foi de 5,2K e o atraso térmico foi de 1 hora.

O maior valor de temperatura ocorreu no dia 03 de fevereiro, às 15 horas (13h36min, horário solar), registrando, externamente, 40,9°C e, internamente, 34,2°C. O maior valor diário, internamente, foi de 35,3°C, às 18 horas. O amortecimento térmico foi de 5,6K e o atraso térmico foi de 3 horas.

A temperatura média do ar externo, no verão, foi de 25,7°C e, a temperatura média do ar interno, foi de 27,0°C.

A Figura 38 ilustra as variações de temperatura no período do verão.

---

<sup>29</sup> Para o período do verão, foram descartados o período de férias letivas (os meses de janeiro e fevereiro), fins de semana e horários fora do período de utilização da Escola (7h-19h).

<sup>30</sup> Para determinar a hora solar deve ser levada em consideração a localidade analisada; no caso, considerar-se-á a cidade de Porto Alegre, correspondente à longitude 51°W, o qual se traduz em uma diferença, para nós, de 24min, em relação à hora legal estabelecida. Ainda, a vigência do horário de verão, período 2009/2010, ocorreu das 0h do dia 28 de outubro de 2009 às 0h do dia 21 de fevereiro de 2010, adiantando em uma hora o horário legal.

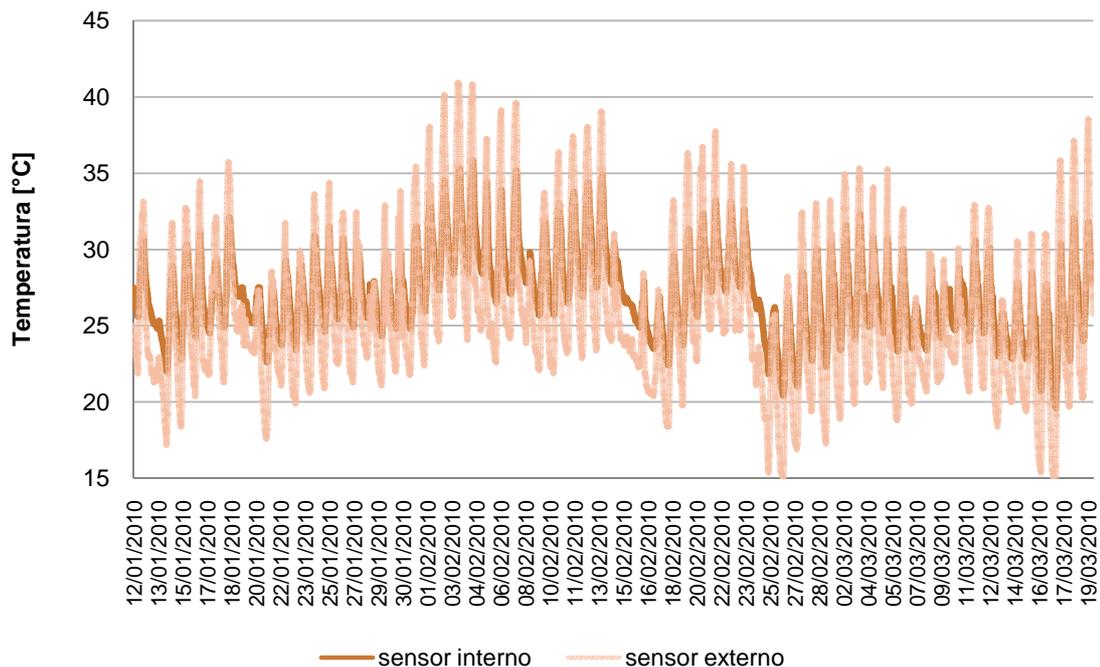


Figura 38: perfil das temperaturas no período de verão - CPVAC

A seguir, são descritas a semana com a menor média das mínimas diárias e a semana com a maior média das máximas diárias. Elas são identificáveis no gráfico acima e, correspondem às semanas com os valores absolutos mínimos e máximos registrados no período.

#### *Semana com a menor média das mínimas diárias, no verão*

Não houve uma semana representativa das condições de frio; assim sendo, esta semana corresponde ao período em que houve atenuação das condições de calor, sem ocorrência de baixas temperaturas, efetivamente.

A menor média das mínimas temperaturas diárias ocorreu na semana do dia 14 a 19 de março<sup>31</sup>. Neste período, a média das mínimas temperaturas, externamente, foi de 18,2°C e, internamente, foi de 22,1°C. O amortecimento térmico médio foi de 3,9K.

A temperatura média do ar, para esta semana, foi de 24,6°C, externamente, e de 25,3°C, internamente.

A semana (144 horas) apresentou desconforto ao frio ( $t < 20^{\circ}\text{C}$ ), externamente, em 29 horas (20%) e, internamente, em 3 horas (2,1%); e desconforto ao calor ( $t > 29^{\circ}\text{C}$ ), externamente, em 37 horas (25,7%) e, internamente, em 17 horas (11,8%).

A Figura 39 ilustra as variações de temperatura para esta semana.

<sup>31</sup> A semana apresentou 6 dias em decorrência do início do outono, a partir do dia 20 de março.

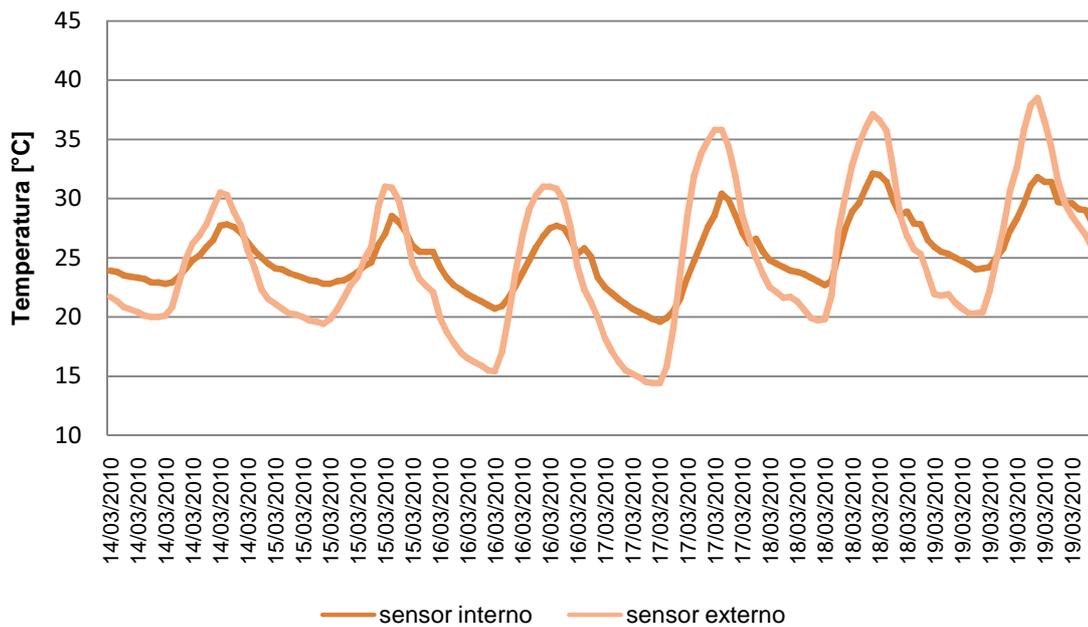


Figura 39: perfil das temperaturas durante a semana com a menor média das mínimas diárias – verão - CPVAC

#### *Semana com a maior média das máximas diárias, no verão*

A semana apresentou condições severas de temperatura. A edificação não conseguiu liberar calor, pois os registros foram, constantemente, elevados, até mesmo no período noturno. Ainda, em decorrência do período de férias letivas, a sala permaneceu fechada, com temperaturas bastante elevadas, sugerindo efeito estufa.

A maior média das máximas temperaturas diárias ocorreu na semana do dia 31 de janeiro a 06 de fevereiro. A média das máximas temperaturas, externamente, foi de 38,8°C e, internamente, foi de 34,1°C. O amortecimento térmico médio foi de 4,7K.

A temperatura média do ar, para esta semana, foi de 29,3°C, externamente, e de 29,9°C, internamente.

A semana (168 horas) apresentou desconforto ao calor ( $t > 29^{\circ}\text{C}$ ), externamente, em 69 horas (41%) e, internamente, em 100 horas (59,5%).

A Figura 40 ilustra as variações de temperaturas para esta semana.

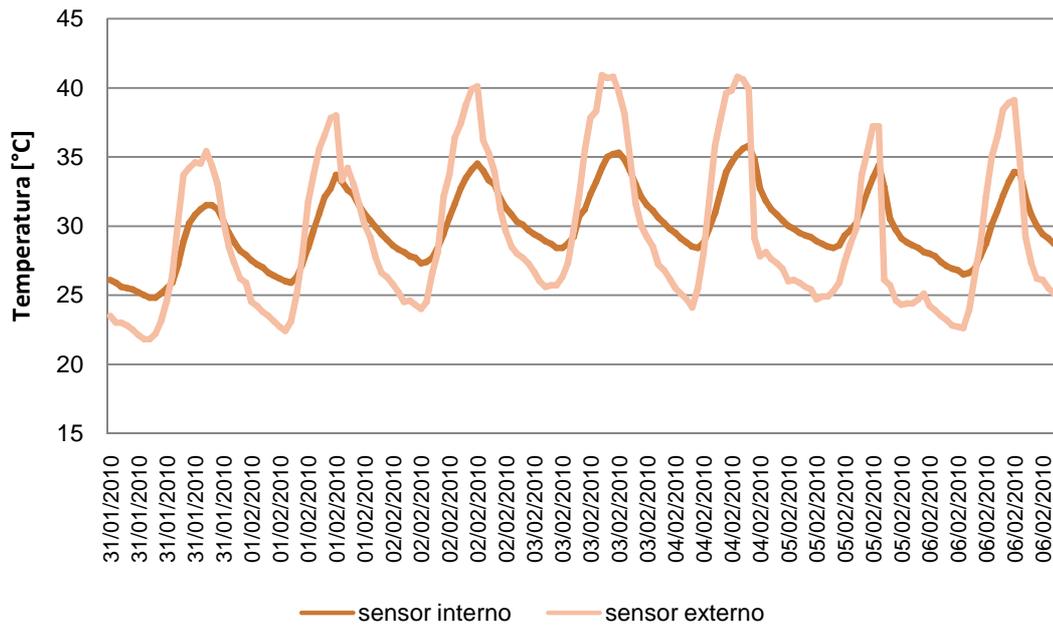


Figura 40: perfil das temperaturas durante a semana com a maior média das máximas diárias – verão – CPVAC

4.1.1.2 Umidade relativa do ar

O menor valor de umidade relativa ocorreu no dia 19 de março, às 15 horas (14h36min, hora solar), registrando, externamente, 30,7% e, internamente, 52,5% (valor mínimo diário).

O maior valor de umidade relativa ocorreu no dia 16 de fevereiro, às 8 horas (6h36min, hora solar), registrando, externamente, 92% e, internamente, 79,3% (valor máximo diário).

O menor valor de umidade relativa, no verão, internamente, foi de 44,9% (16 de março às 18 horas) e o maior valor foi de 79,6% (20 de janeiro, às 8 horas e 10 de março, às 8 horas).

A Figura 41 ilustra a ocorrência de umidade relativa, em faixas que contemplam valores: abaixo de 40%, entre 40% e menores que 60%, de 60% a 80% e maiores que 80%.

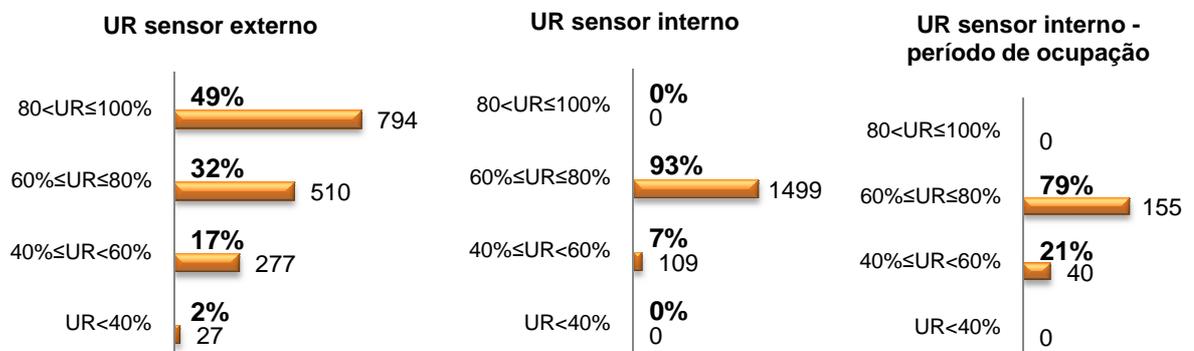


Figura 41: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - verão – CPVAC

O desconforto (acima de 80% de umidade relativa) correspondeu, externamente, a 794 horas (49%) e, internamente, não houve registro. O conforto (abaixo de 80% de umidade relativa) correspondeu, externamente, a 814 horas (51%) e, internamente, correspondeu a 1608 horas (100%) das 1608 horas analisadas.

Considerando somente o período de ocupação da Escola (195 horas), em 100% das horas houve situação de conforto.

#### 4.1.1.3 Graus-hora

Para a metodologia graus-hora, é apresentada a Tabela 12, relativa a graus-hora para aquecimento e a graus-hora para refrigeração.

Tabela 12: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração - verão - CPVAC

Temp. base	CPVAC - verão								
	Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação		
	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio
14°C	0	0	-	0	0	-	0	0	-
15°C	1,8	4	0,4	0	0	-	0	0	-
16°C	13,4	18	0,7	0	0	-	0	0	-
17°C	36,1	26	1,4	0	0	-	0	0	-
18°C	73,8	48	1,5	0	0	-	0	0	-
20°C	235,8	125	1,9	0,7	3	0,2	0,7	3	0,23
25°C	3.645,7	762	4,8	3.805,4	1.213	3,1	433,6	129	3,36
26°C	2.944,0	628	4,7	2.700,3	977	2,8	311,4	113	2,75
27°C	2.368,8	525	4,5	1.820,5	761	2,4	205,6	96	2,14
28°C	1.883,3	440	4,3	1.165,1	538	2,2	123,5	66	1,87
29°C	1.477,8	375	3,9	710,4	358	2,0	65,6	47	1,39

Externamente, para a condição de aquecimento, à temperatura-base de 20°C, foram registradas 125 horas, somatório de 235,8 graus-hora e grau-médio de 1,9K. Internamente, foram registradas 3 horas, somatório de 0,7 graus-hora e grau-médio de 0,2K.

Externamente, para a condição de refrigeração, à temperatura-base de 29°C, foram registradas 375 horas, somatório de 1.477,8 graus-hora e grau-médio de 3,9K. Internamente, foram registradas 358 horas, somatório de 710,4 graus-hora e grau-médio de 2,0K.

Considerando somente o período de ocupação da Escola, ilustrado na Tabela 11, o grau-médio demonstrou redução das altas temperaturas, em relação à condição anterior (número total de medições). Isto se deve à desconsideração dos dados dos meses de janeiro e fevereiro, que registraram as temperaturas mais elevadas, por estarem fora do período de ocupação da escola (férias letivas).

Para ilustrar a distribuição da temperatura do ar, no verão, é apresentado o histograma a seguir (Figura 42).

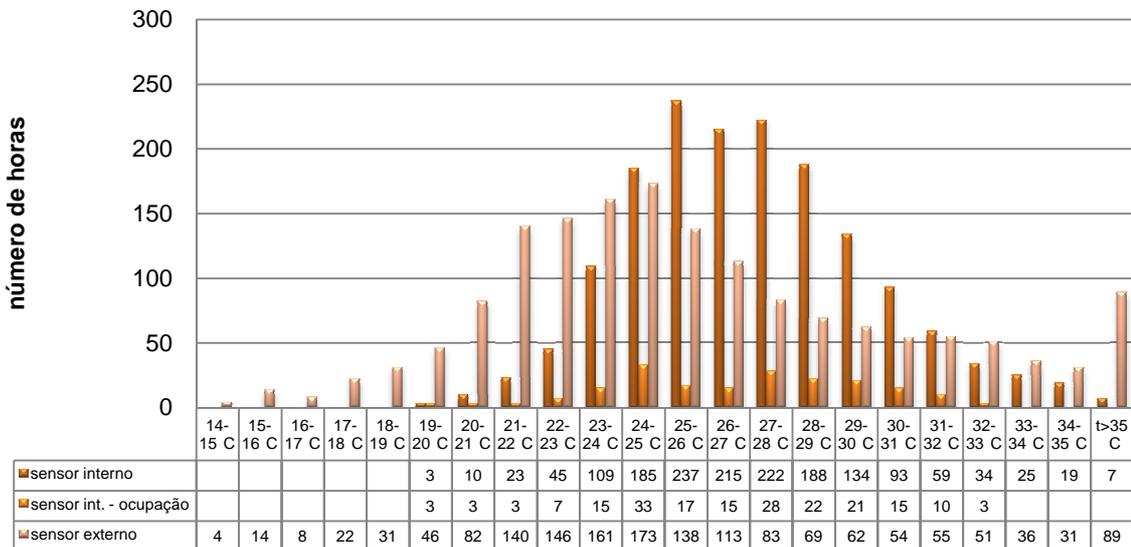


Figura 42: histograma das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - verão – CPVAC

O conforto, externamente, correspondeu a 1.105 horas (68,7%), das 1.608 horas analisadas. O desconforto por calor correspondeu a 378 horas (23,5%) e o desconforto por frio correspondeu a 125 horas (7,8%).

Reduzindo o limite de conforto para 27°C e, posteriormente, para 25°C ( índices utilizados, quando a umidade for elevada), as horas de desconforto ao calor, externamente, ascendem para 530 horas (33%) e 781 horas (48,6%), respectivamente.

Internamente, o conforto correspondeu a 1.234 horas (76,7%), das 1.608 horas analisadas. O desconforto por calor correspondeu a 371 horas (23,1%) e o desconforto por frio correspondeu a 3 horas (0,2%).

Reduzindo o limite de conforto para 27°C e, posteriormente, para 25°C, as horas de desconforto ao calor, internamente, ascendem para 781 horas (48,6%) e 1.233 horas (76,7%), respectivamente.

Considerando somente o período de ocupação da Escola, o conforto correspondeu a 143 horas (73,4%). O desconforto por calor correspondeu a 49 horas (25,1%) e o desconforto por frio correspondeu a 3 horas (1,5%).

#### 4.1.1.4 Carta Bioclimática

Esta análise utilizou o *software Analysis Bio*, do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (Labeee), da Universidade Federal de Santa Catarina. O programa, através da inserção de dados horários de temperatura e umidade relativa, gera a carta psicrométrica. A carta utiliza como zona de conforto, temperaturas entre 18-29°C (não distinguindo a estação do verão e do inverno) e, umidade relativa abaixo de 80%.

A Figura 43 ilustra as cartas psicrométricas, para o sensor externo e interno (período total de medições e período de ocupação), no verão.

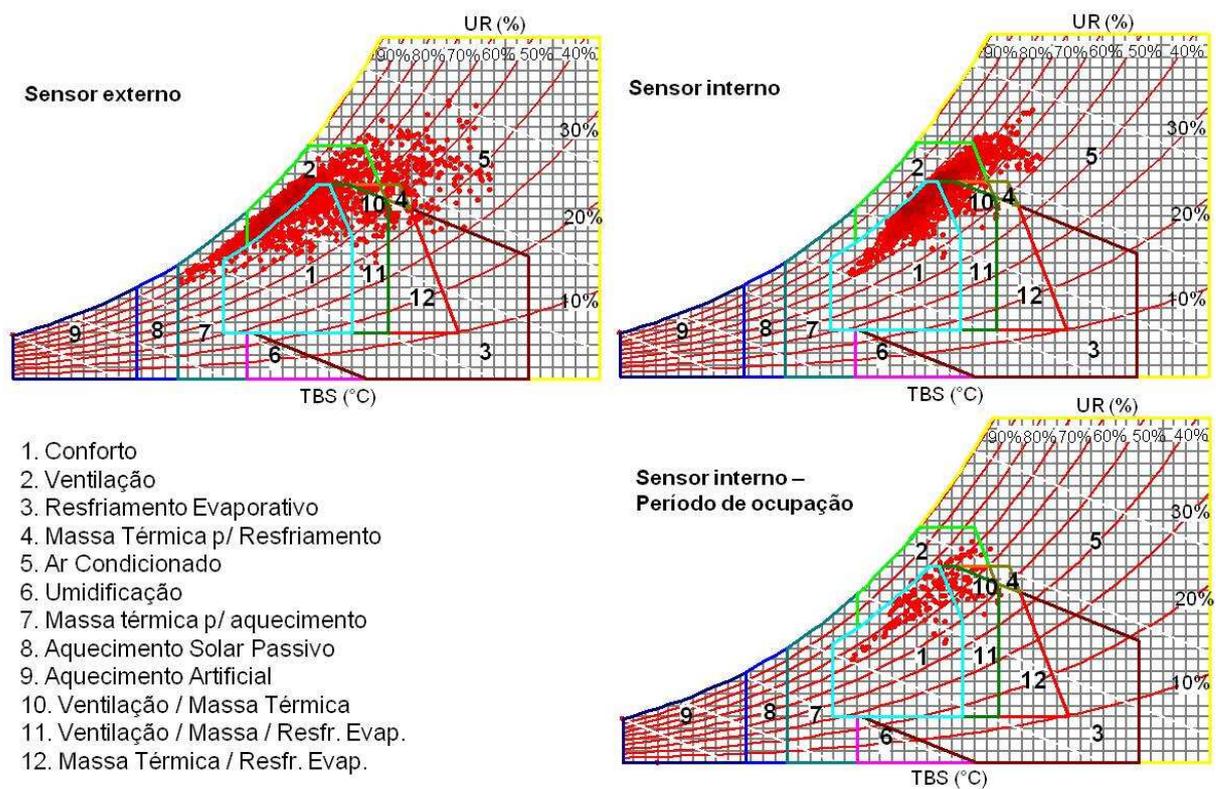


Figura 43: carta psicrométrica dos sensores - verão - CPVAC

Em condição externa, o conforto higrotérmico correspondeu a 19,65% (316 horas). O desconforto foi de 80,35% (1292 horas); sendo, em relação ao calor, de 73,25% (1178 horas) e, em relação ao frio, de 7,10% (114 horas).

Em condição interna, o conforto higrotérmico correspondeu a 54,85% (882 horas). O desconforto foi de 45,15% (726 horas); sendo, em relação ao calor, de 45,15% (726 horas) e, em relação ao frio, nulo.

As estratégias recomendadas, para o desconforto ao calor, internamente, são:

- a) Ventilação, com 23,8% (383 horas);

- b) Ar condicionado, com 9,63% (155 horas); alternativas ativas de refrigeração são expressivas em períodos severos de altas temperaturas;
- c) Massa térmica para resfriamento, com 0,06% (1 hora).

E a recomendação de estratégias combinadas:

- a) Ventilação e massa térmica para resfriamento, com 0,37% (6 horas); ventilação, massa térmica para resfriamento e resfriamento evaporativo, com 11,1% (178 horas); e massa térmica e resfriamento evaporativo com 0,19% (3 horas).

Considerando somente o período de ocupação da Escola, o conforto higrotérmico correspondeu a 60% (117 horas) do período de monitoramento (195 horas). O desconforto foi de 40% (78 horas), sendo nulo em relação ao frio.

As estratégias recomendadas podem ser visualizadas abaixo, na Tabela 13.

Tabela 13: relatório dos sensores - verão - CPVAC

CPVAC - verão			
	Sensor externo	Sensor interno	Sensor int. - ocupação
<b>Conforto</b>	<b>19,65%</b>	<b>54,85%</b>	<b>60%</b>
<b>Desconforto</b>	<b>80,35%</b>	<b>45,15%</b>	<b>40%</b>
Calor	73,25%	45,15%	40%
Frio	7,10%	-	-
Estratégias para condições internas			
<b>Desconforto</b>	Ventilação	23,8%	8,7%
	Resfriamento Evaporativo	-	-
	Massa Térmica p/ Resfriamento	0,06%	0,5%
	Ar condicionado	9,63%	0,5%
	Ventilação / Massa Térmica p/ Resfriamento	0,37%	2,6%
	Ventilação / Massa Resfr./ Resfr. Evaporativo	11,1%	26,2%
	Massa Térmica / Resfriamento Evaporativo	0,19%	1,5%
	Massa Térmica / Aquecimento Solar	-	-
	Aquecimento Solar Passivo	-	-
	Aquecimento Artificial	-	-

#### 4.1.1.5 Considerações sobre o conforto térmico

Na Tabela 14 são apresentados os resultados resumidos, em percentuais, das horas de conforto na sala de aula do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí, no verão.

Observe que, somente a carta psicrométrica utiliza dados conjugados de temperatura e umidade relativa e, por este motivo, apresenta valores mais reais.

Tabela 14: resumo do conforto térmico na sala de aula (CPVAC) – verão - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação

CPVAC - verão		
	Histograma (faixas de temperatura de conforto)	Carta psicrométrica de Givoni
Período de medições	76,7%	54,85%
Período de ocupação	73,4%	60,0%

O percentual de conforto térmico, na sala de aula, foi de 54,85% e, considerando o período de ocupação, o percentual de conforto foi de 60%.

#### 4.1.2 Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico

As medições corresponderam ao período entre as 0h do dia 12 de janeiro de 2010, até as 23h do dia 19 de março de 2010. Foram efetuadas medições em 67 dias, resultando em 1608 aquisições. O período de ocupação do edifício correspondeu a 195 destas aquisições.

##### 4.1.2.1 Temperatura do ar

O menor valor de temperatura ocorreu no dia 16 de março às 07 horas (06h36min, hora solar), com registro de 15,5°C, externamente, e de 20,3°C (valor mínimo durante o verão), internamente. O amortecimento térmico foi de 4,8K e não houve atraso térmico.

O maior valor de temperatura ocorreu no dia 03 de fevereiro às 18 horas (16h36min, hora solar), com registro de 38,2°C, externamente, e de 34,3°C (valor máximo durante o verão), internamente. O amortecimento térmico foi de 3,9K e não houve atraso térmico.

A temperatura média do ar externo, no verão, foi de 26,1°C e, a temperatura média do ar interno, foi de 26,8°C.

A Figura 44 ilustra as variações de temperatura no período do verão.

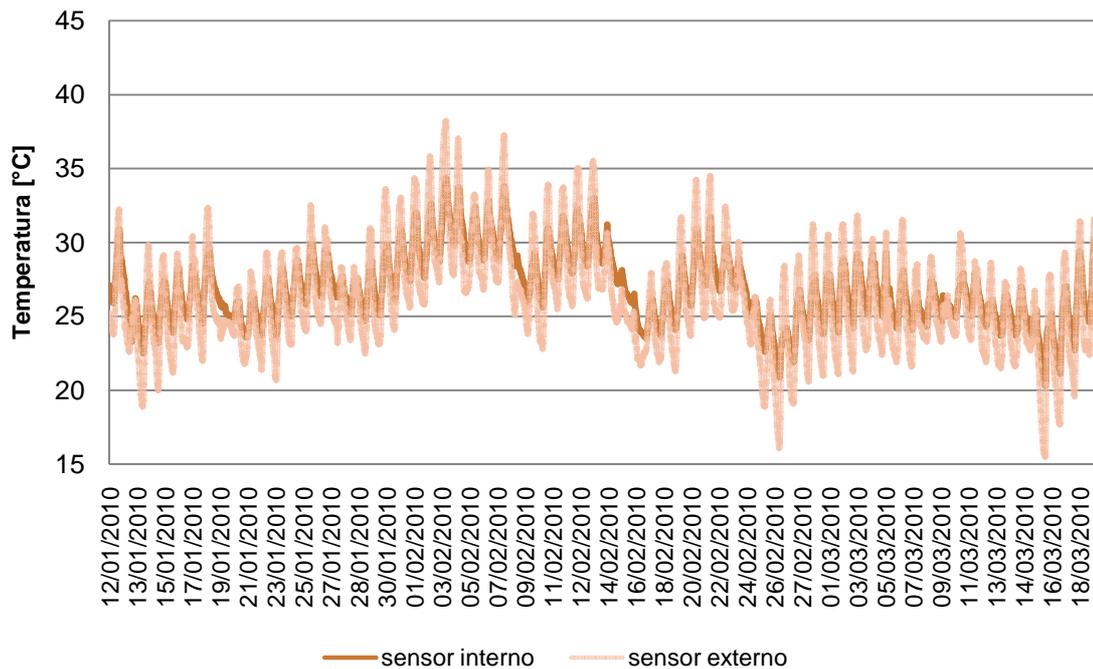


Figura 44: perfil das temperaturas no período de verão – Frei Pacífico

Houve registros recorrentes de altas temperaturas ( $t > 29^{\circ}\text{C}$ ), principalmente no mês de fevereiro, que registrou uma sequência de dias de calor intenso.

A seguir, são descritas a semana com a menor média das mínimas diárias e a semana com a maior média das máximas diárias.

*Semana com a menor média das mínimas diárias, no verão*

O período com a menor média das mínimas temperaturas diárias foi registrado na semana do dia 14 a 19 de março (último dia do verão). A média das mínimas temperaturas diárias, externamente, foi de  $19,9^{\circ}\text{C}$  e, internamente, foi de  $22,7^{\circ}\text{C}$ . O amortecimento térmico médio foi de 2,8K.

A temperatura média do ar, para esta semana, foi de  $23,9^{\circ}\text{C}$ , externamente e, de  $24,9^{\circ}\text{C}$ , internamente.

A semana (144 horas) apresentou desconforto ao calor ( $t > 29^{\circ}\text{C}$ ), externamente, em 13 horas (9%) e, internamente, em 7 horas (4,9%); e desconforto ao frio ( $t < 20^{\circ}\text{C}$ ), externamente, em 20 horas (13,9%) e, internamente, não houve registro.

A Figura 45 ilustra as variações de temperaturas para esta semana.

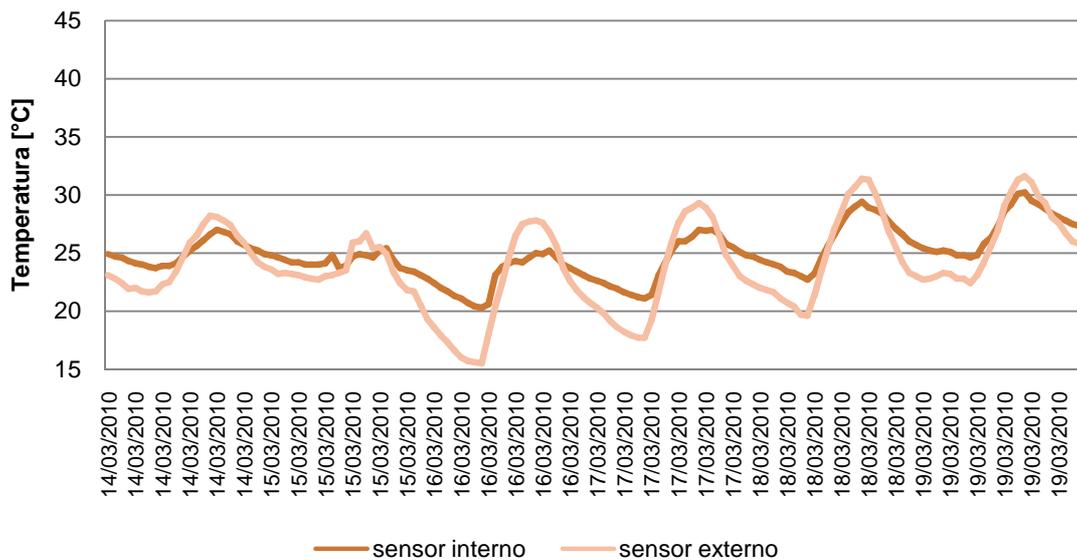


Figura 45: perfil das temperaturas durante a semana com a menor média das mínimas diárias – verão – Frei Pacifico

#### *Semana com a maior média das máximas diárias, no verão*

O período com a maior média das máximas temperaturas diárias foi registrado na semana de 31 de janeiro a 06 de fevereiro. A média das máximas temperaturas diárias, externamente, foi de 35,2°C<sup>32</sup> e, internamente, foi de 32,7°C.

A temperatura média do ar, para esta semana, foi de 29,9°C, externamente, e de 30,2°C, internamente.

A semana (168 horas) apresentou desconforto ao calor (>29°C), externamente, em 85 horas (50,6%) e, internamente, em 122 horas (72,6%).

A Figura 46 ilustra as variações de temperaturas para esta semana.

<sup>32</sup> Adotou-se a metodologia de estruturação por semana, no entanto, o calor intenso se prolongou na semana seguinte, dos dias 07 a 13 de Fevereiro, obtendo-se média das máximas temperaturas diárias de 33,9°C.

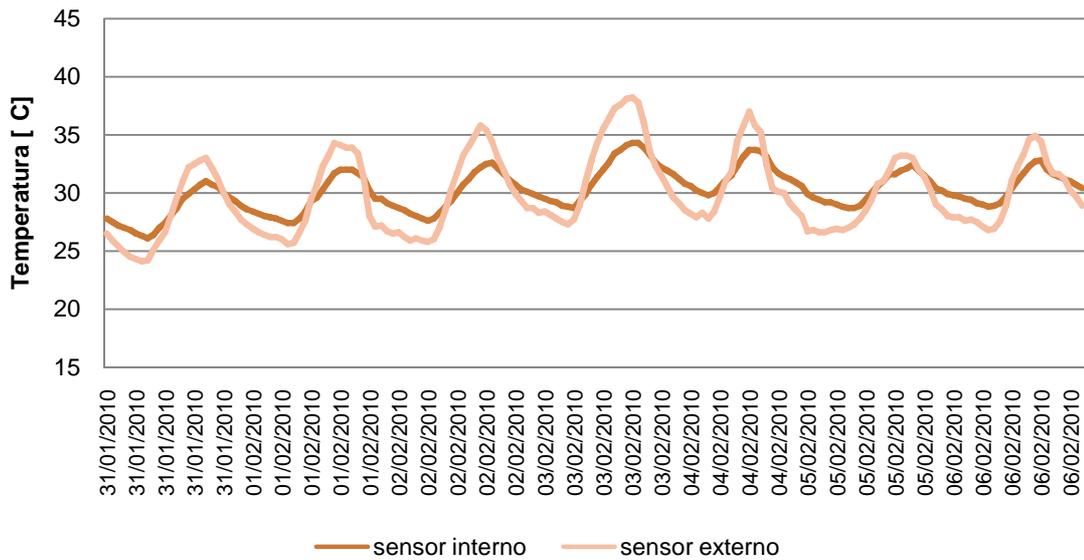


Figura 46: perfil das temperaturas durante a semana com a maior média das máximas diárias – verão – Frei Pacífico

4.1.2.2 Umidade relativa do ar

O menor valor de umidade relativa ocorreu no dia 16 de março, às 16 horas (15h36min, hora solar), registrando, externamente, 34,9% e, internamente, 41,9%.

O maior valor de umidade relativa ocorreu no dia 30 de janeiro, às 8 horas (6h36min, hora solar), registrando, externamente, 91,2% e, internamente, 77,2%.

Os valores de umidade relativa, no verão, estiveram compreendidos entre 34,9% e 91,2%, externamente e entre 40% (16 de março às 12 horas) e 84,3% (9 de março, às 14 horas), internamente.

A Figura 47 ilustra a ocorrência de umidade relativa em faixas que contemplam valores: abaixo de 40%, entre 40% e menores que 60%, de 60% a 80% e maiores que 80%.

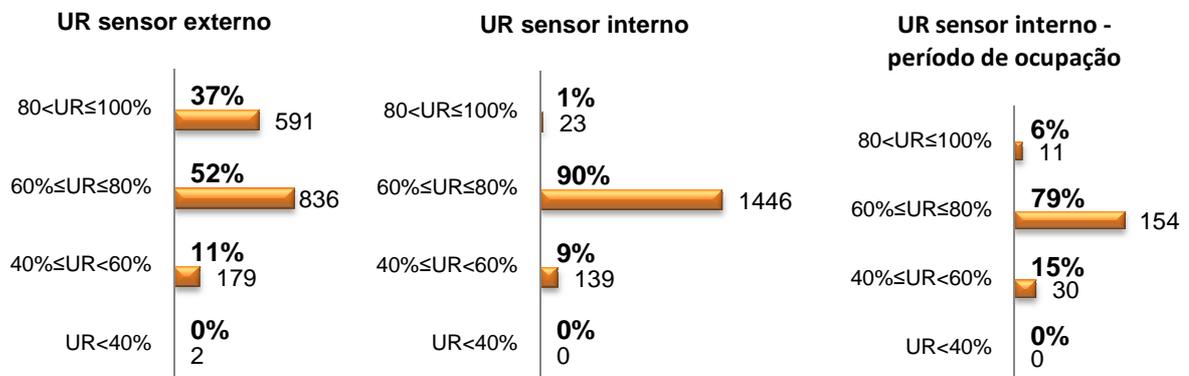


Figura 47: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação – verão – Frei Pacífico

O desconforto (acima de 80% de umidade relativa) correspondeu, externamente, a 591 horas (37%) e, internamente, a 23 horas (1%). O conforto (abaixo de 80% de umidade relativa) correspondeu, externamente, a 1017 horas (63%) e, internamente, correspondeu a 1585 horas (99%), das 1608 horas analisadas.

Considerando somente o período de ocupação da Escola (195 horas), o desconforto correspondeu a 11 horas (6%) e o conforto correspondeu a 184 horas (94%).

#### 4.1.2.3 Graus-hora

Para a metodologia graus-hora, é apresentada a Tabela 15, relativa a graus-hora para aquecimento e refrigeração.

Tabela 15: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração – verão – Frei Pacífico

Temp. base	Frei Pacífico - verão								
	Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação		
	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio
14°C	0	0	-	0	0	-	0	0	-
15°C	0	0	-	0	0	-	0	0	-
16°C	1,2	3	0,4	0	0	-	0	0	-
17°C	7,3	8	0,9	0	0	-	0	0	-
18°C	18,1	15	1,2	0	0	-	0	0	-
20°C	74,5	46	1,6	0	0	-	0	0	-
25°C	3.184,9	924	3,4	3.377,4	1235	2,7	310,7	147	2,1
26°C	2.339,1	748	3,1	2.266,3	942	2,4	179,9	107	1,7
27°C	1.670,6	564	3,0	1440	696	2,1	85,3	77	1,1
28°C	1.168,6	430	2,7	857,5	467	1,8	29,1	35	0,8
29°C	800,4	308	2,6	467,3	292	1,6	4,5	10	0,4

Para a condição de aquecimento, à temperatura-base de 20°C, externamente, foram registradas 46 horas, somatório de 74,5 graus-hora e grau-médio de 1,6K. Internamente, não houve registro à esta temperaturas-base.

Para a condição de refrigeração, à temperatura-base de 29°C, externamente, foram registradas 308 horas, somatório de 800,4 graus-hora e grau-médio de 2,6K. Internamente, foram registradas 292 horas, somatório de 467,3 graus-hora e grau-médio de 1,6K.

Considerando somente o período de ocupação da Escola, ilustrado na Tabela 9, o grau-médio demonstrou redução das altas temperaturas, em relação à condição anterior (número total de medições). Isto se deve à desconsideração dos dados dos meses de janeiro e fevereiro, que registraram as temperaturas mais elevadas, em função de estarem fora do período de ocupação da escola (férias letivas).

Para ilustrar a distribuição da temperatura do ar, no verão, é apresentado o histograma a seguir (Figura 48).

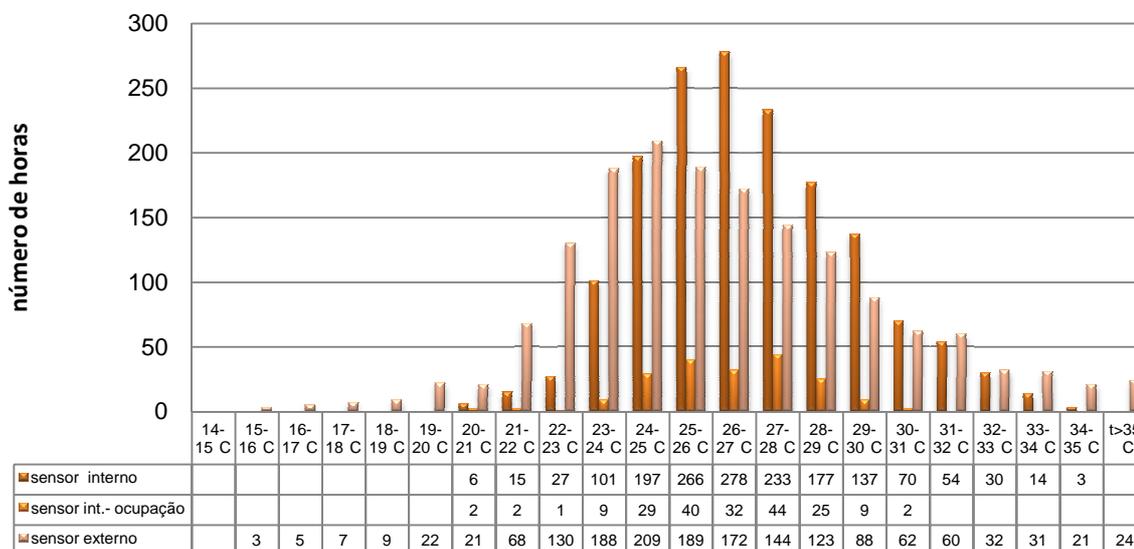


Figura 48: histograma das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação – verão – Frei Pacífico

O conforto, externamente, correspondeu a 1244 horas (77,4%), das 1.608 horas analisadas. O desconforto por calor correspondeu a 318 horas (19,8%) e o desconforto por frio correspondeu a 46 horas (2,8%).

Utilizando a temperatura limite de 27°C e, posteriormente, a de 25°C, adotados para altas umidades, haverá aumento das horas de desconforto ao calor, externamente, para 585 horas (36,4%) e 946 horas (58,8%), respectivamente.

O conforto, internamente, correspondeu a 1.300 horas (80,8%). O desconforto por calor correspondeu a 308 horas (19,2%) e não houve registro de desconforto ao frio.

Utilizando a temperatura limite de 27°C, e, posteriormente, a de 25°C, adotadas para altas umidades, haverá aumento das horas de desconforto ao calor, internamente, para 718 horas (44,6%) e 1.262 horas (78,5%), respectivamente.

Considerando somente o período de ocupação da Escola, o conforto correspondeu a 184 horas (94,4%). O desconforto por calor correspondeu a 11 horas (5,6%) e o desconforto por frio foi nulo.

#### 4.1.2.4 Carta Bioclimática

As cartas psicrométricas foram geradas pelo Programa *Analysis Bio*, a partir dos dados de temperatura e umidade relativa. Salienta-se, no entanto, que o programa estabelece o limite

inferior da zona de conforto com temperatura de 18°C, enquanto que neste estudo foi adotada a temperatura de 20°C, como valor mínimo de conforto para o verão.

A Figura 49 ilustra as cartas psicrométricas, para o sensor externo e interno (período total de medições e período de ocupação), no verão.

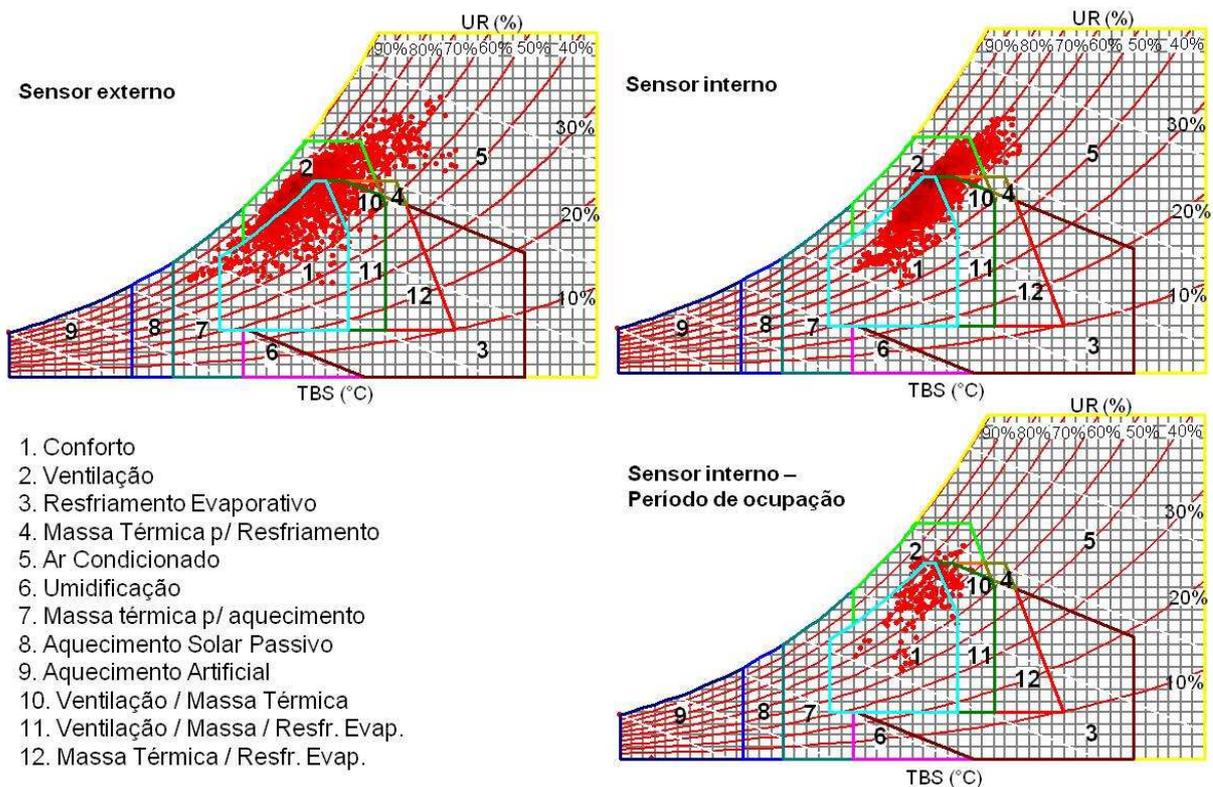


Figura 49: carta psicrométrica dos sensores – verão – Frei Pacífico

Em condição externa, o conforto higrotérmico correspondeu a 31,6% (508 horas) do período de monitoramento (1608 horas analisadas). O desconforto foi de 68,4% (1100 horas); em relação ao calor, foi de 66,9% (1076 horas) e, em relação ao frio, foi de 1,5% (24 horas).

Em condição interna, o conforto higrotérmico correspondeu a 57,9% (931 horas) do período de monitoramento (1608 horas analisadas). O desconforto foi de 42,1% (677 horas); em relação ao calor, foi de 42,1% (677 horas) e, em relação ao frio, foi nulo.

As estratégias recomendadas, para o desconforto ao calor, internamente, são:

- a) Ventilação, com 25,26% (406 horas). Salienta-se, no entanto, que a edificação permaneceu fechada, em decorrência do período de férias letivas;
- b) Ar condicionado, com 7,77% (125 horas), em decorrência das altas temperaturas, principalmente, registradas no mês de fevereiro.

E algumas estratégias com ações combinadas:

- a) Ventilação e massa térmica para resfriamento, com 0,87% (14 horas);  
ventilação, massa térmica para resfriamento e resfriamento evaporativo, com 8,2% (132 horas).

Considerando somente o período de ocupação da Escola, o conforto higrotérmico correspondeu a 66,7% (130 horas) do período de monitoramento (195 horas). O desconforto foi de 33,3% (65 horas), sendo nulo em relação ao frio.

As estratégias recomendadas podem ser visualizadas abaixo, na Tabela 16.

Tabela 16: relatório dos sensores – verão – Frei Pacífico

<b>Frei Pacífico - verão</b>			
	<b>Sensor externo</b>	<b>Sensor interno</b>	<b>Sensor int. - ocupação</b>
<b>Conforto</b>	<b>31,6%</b>	<b>57,9%</b>	<b>66,7%</b>
<b>Desconforto</b>	<b>68,4%</b>	<b>42,1%</b>	<b>33,3%</b>
Calor	66,9%	42,1%	33,3%
Frio	1,5%	-	-
<b>Estratégias para condições internas</b>			
<b>Desconforto</b>	Ventilação	25,26%	10,3%
	Resfriamento Evaporativo	-	-
	Massa Térmica p/ Resfriamento	-	-
	Ar condicionado	7,77%	-
	Ventilação / Massa Térmica p/ Resfriamento	0,87%	1,0%
	Ventilação / Massa Resfr./ Resfr. Evaporativo	8,2%	22,0%
	Massa Térmica / Resfriamento Evaporativo	-	-
	Massa Térmica / Aquecimento Solar	-	-
	Aquecimento Solar Passivo	-	-
Aquecimento Artificial	-	-	

#### 4.1.2.5 Considerações sobre conforto térmico

Na Tabela 17 são apresentados os resultados resumidos, em percentuais, das horas de conforto na sala de aula da Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico, no verão.

Tabela 17: resumo do conforto térmico na sala de aula (Frei Pacífico) – verão - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação

<b>Frei Pacífico - verão</b>		
	<b>Histograma (faixas de temperatura conforto)</b>	<b>Carta psicrométrica de Givoni</b>
Período de medições	80,8%	57,9%
Período de ocupação	94,4%	66,7%

De acordo com a carta psicrométrica, o percentual de conforto térmico, na sala de aula, foi de 57,9% e, considerando o período de ocupação, o percentual de conforto foi de 66,9%.

## 4.2 ANÁLISE DO DESEMPENHOTÉRMICO NO OUTONO

### 4.2.1 Centro de Educação Profissional do Vale do Caí

As medições foram realizadas entre as 0h do dia 20 de março de 2010 e 23h do dia 20 de junho de 2010. Em decorrência de um problema no sensor externo, que forneceu dados incoerentes, por um período de 72 horas, foram validadas 2160 aquisições (90 dias de medições). Assim, ficaram excluídas as medições referentes às 11 horas do dia 19 de maio de 2010 até às 10 horas do dia 22 de maio de 2010. O período de ocupação<sup>33</sup> do edifício correspondeu a 810 aquisições.

#### 4.2.1.1 Temperatura do ar

A mínima temperatura, externamente, foi de 7,5°C, registrada às 7 horas (6h36min, hora solar), do dia 12 de junho. Na ocasião, internamente, a temperatura foi de 12,3°C e, após uma hora, foi registrada a mínima temperatura do outono, de 12,2°C. O amortecimento térmico foi de 4,7K e o atraso térmico foi de uma hora.

A máxima temperatura, externamente, foi de 36,8°C, registrada às 15 horas (14h36min, hora solar) do dia 02 de abril. Na ocasião, internamente, a temperatura foi de 31,6°C e, após uma hora, foi registrada a máxima temperatura do outono, de 31,8°C. O amortecimento térmico foi de 5K e o atraso térmico foi de uma hora.

A temperatura média do ar externo, no outono, foi de 18,7°C e, a temperatura média do ar interno, foi de 20,3°C.

A Figura 50 ilustra as variações de temperatura no período do outono. Observa-se o declínio das temperaturas com a proximidade do período do inverno, assim como os dias apresentando grande amplitude térmica. A faixa de conforto utilizada nesta pesquisa, no outono, é de 18 a 29°C.

---

<sup>33</sup> Para o período do outono, foram descartados os fins de semana e horários fora do período de utilização da Escola (7h-19h).

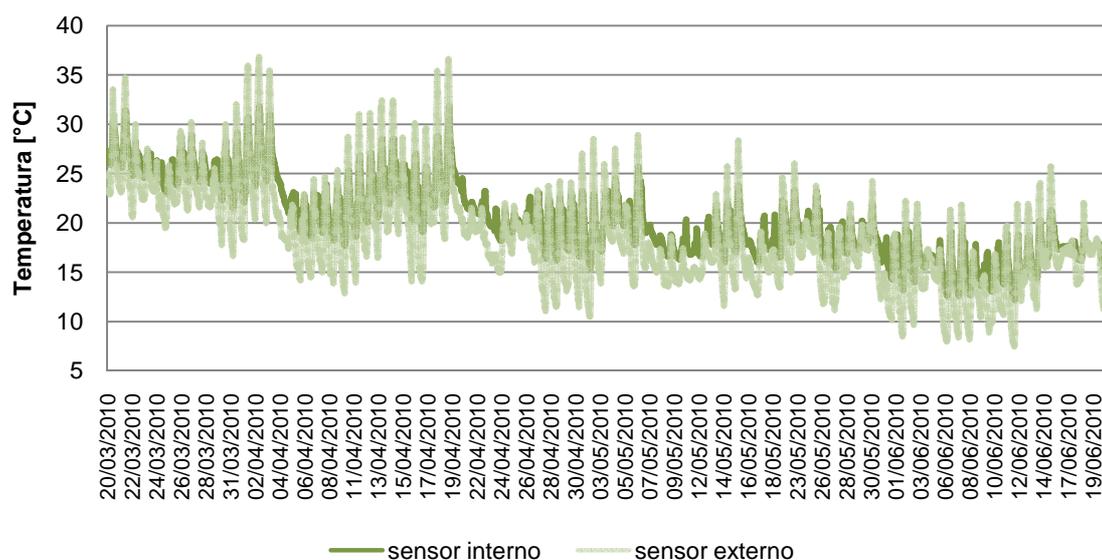


Figura 50: perfil das temperaturas no período de outono – CPVAC

A seguir, são descritas a semana com a menor média das mínimas diárias e a semana com a maior média das máximas diárias. Os registros das temperaturas absolutas mínimas e máximas estão vinculados com a proximidade do verão, para os valores mais elevados de temperatura, e do inverno, para valores mais baixos de temperatura.

#### *Semana com a menor média das mínimas diárias, no outono*

A semana que apresentou a menor média das mínimas temperaturas ocorreu do dia 06 a 12 de junho. A média das mínimas temperaturas foi de 8,7°C, externamente, e de 12,9°C, internamente. O amortecimento térmico médio foi de 4,2K.

A temperatura média do ar, para esta semana foi de 12,9°C, externamente e de 15°C, internamente.

A semana (168 horas) apresentou desconforto ao frio ( $t < 18^\circ\text{C}$ ), externamente, em 148 horas (88,1%) e, internamente, em 156 horas (92,8%).

A Figura 51 ilustra as variações de temperaturas para esta semana.

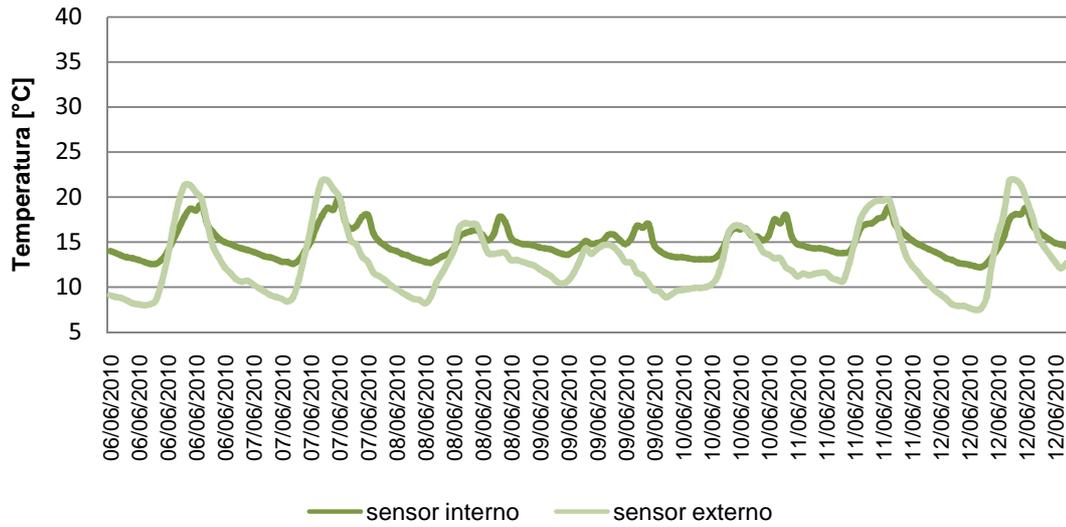


Figura 51: perfil das temperaturas durante a semana com a menor média das mínimas diárias – outono - CPVAC

*Semana com a maior média das máximas diárias, no outono*

A semana que apresentou a maior média das máximas temperaturas ocorreu do dia 28 de março ao dia 03 de abril. A média das máximas temperaturas diárias foi de 31,9°C, externamente, e de 29,2°C, internamente. O amortecimento térmico médio foi de 2,7K.

A temperatura média do ar, para esta semana, foi de 24,5°C, externamente, e de 25,6°C, internamente.

A semana (168 horas) apresentou desconforto ao calor ( $t > 29^\circ\text{C}$ ), externamente, em 26 horas (15,5%) e, internamente, em 16 horas (9,5%).

A Figura 52 ilustra as variações de temperatura para esta semana.

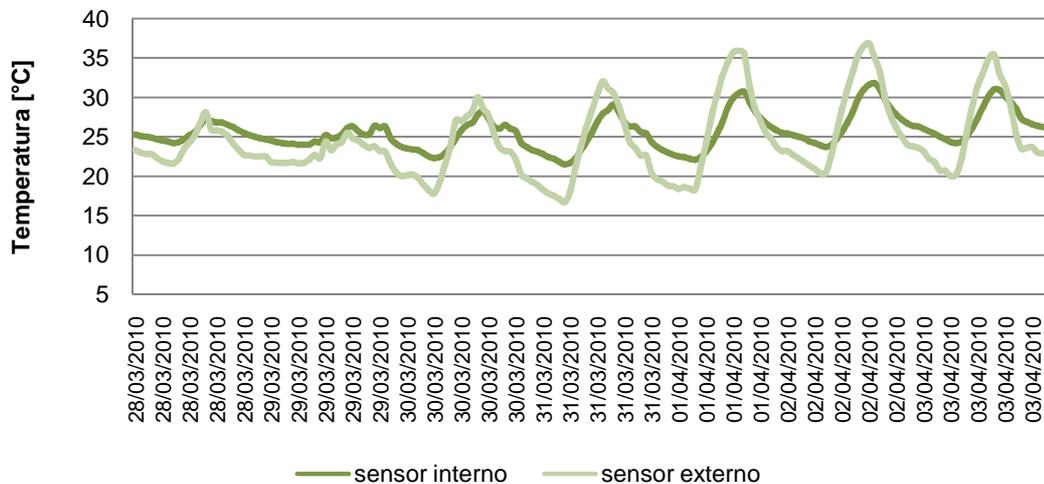


Figura 52: perfil das temperaturas durante a semana com a maior média das máximas diárias – outono – CPVAC

#### 4.2.1.2 Umidade relativa do ar

O menor índice de umidade relativa do ar foi de 24,1%, registrado, externamente, no dia 16 de abril às 14h (13h36min, hora solar). Este valor foi atípico para a região, que costuma ter índices mais elevados de umidade relativa do ar. Internamente, o menor índice foi de 39,3%, registrado às 16 horas.

O maior índice de umidade relativa do ar foi de 95,1%, registrado, externamente, no dia 19 de junho, às 17 horas (16h36min, hora solar). Internamente, o maior índice foi de 88,1%, registrado às 18 horas.

A Figura 53 ilustra a ocorrência de umidade relativa em faixas que contemplam valores: abaixo de 40%, entre 40% e menores que 60%, de 60% a 80% e maiores que 80%.

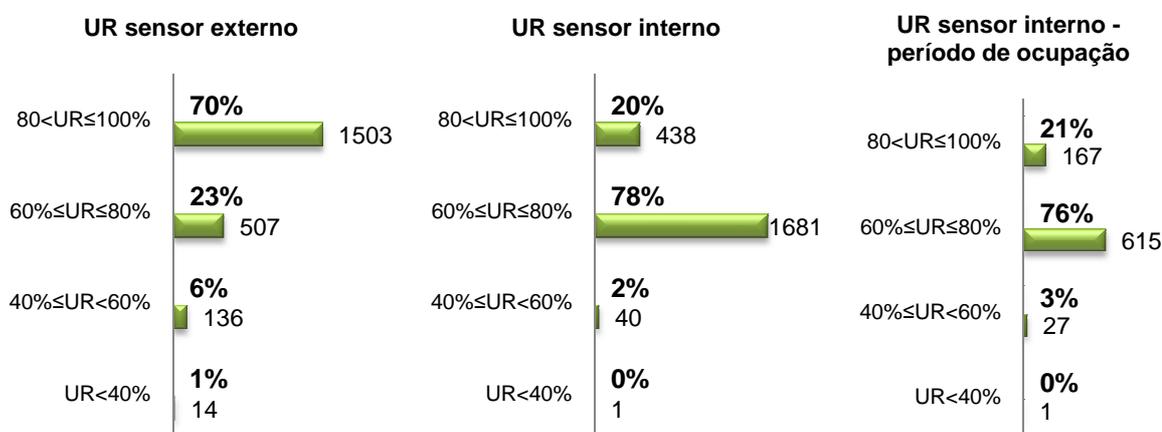


Figura 53: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - outono – CPVAC

O desconforto (acima de 80% de umidade relativa) correspondeu, externamente, a 1503 horas (70%) das 2160 horas analisadas e, internamente, correspondeu a 438 horas (20%). O conforto (abaixo de 80% de umidade) correspondeu, externamente, a 657 horas (30%) e, internamente, correspondeu a 1722 horas (80%).

Considerando somente o período de ocupação da Escola (810 horas), o desconforto correspondeu a 167 horas (21%) e o conforto correspondeu a 643 horas (79%).

#### 4.2.1.3 Graus-hora

Para a metodologia graus-hora, é apresentada a Tabela 18, relativa a graus-hora para aquecimento e refrigeração.

Tabela 18: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração – outono – CPVAC

Temp. base	CPVAC - outono								
	Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação		
	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio
14°C	697	331	2,10	45,6	60	0,76	14,2	20	0,71
15°C	1.123,1	492	2,28	25,4	130	0,19	44,5	39	1,14
16°C	1.741,6	695	2,50	324,5	221	1,47	95,9	66	1,45
17°C	2.535,1	875	2,90	641,2	419	1,53	196,5	140	1,40
18°C	3.537,2	1089	3,25	1.197,7	696	1,72	387,7	239	1,62
25°C	824,6	221	3,73	575,4	312	1,84	256,5	122	2,10
26°C	624,8	177	3,53	317,9	198	1,60	153,0	86	1,78
27°C	464,7	138	3,37	164,7	98	1,68	82,6	49	1,68
28°C	339,7	106	3,20	87,6	61	1,44	43,1	31	1,39
29°C	244,8	79	3,10	42,1	31	1,36	21,5	15	1,43

Para a condição de aquecimento, à temperatura-base de 18°C, externamente, foram registradas 1089 horas, somatório de 3.537,2 graus-hora e grau-médio de 3,25K. Internamente, foram registradas 696 horas, somatório de 1.197,7 graus-hora e grau-médio de 1,72K.

Para a condição de refrigeração, à temperatura-base de 29°C, externamente, foram registradas 79 horas, somatório de 244,8 graus-hora e grau-médio de 3,1K. Internamente, foram registradas 31 horas, somatório de 42,1 graus-hora e grau-médio de 1,36K.

Considerando somente o período de ocupação da Escola, ilustrado na Tabela 11, o grau-médio manteve-se similar à condição anterior (número total de medições), estando mais elevado nas temperaturas de 25°C e 26°C (para condição de refrigeração). Isto é justificado pela eliminação das temperaturas mais amenas, que no outono, ocorrem à noite, fora do período de utilização da Escola.

Para ilustrar a distribuição da temperatura do ar, no outono, é apresentado o histograma a seguir (Figura 54).

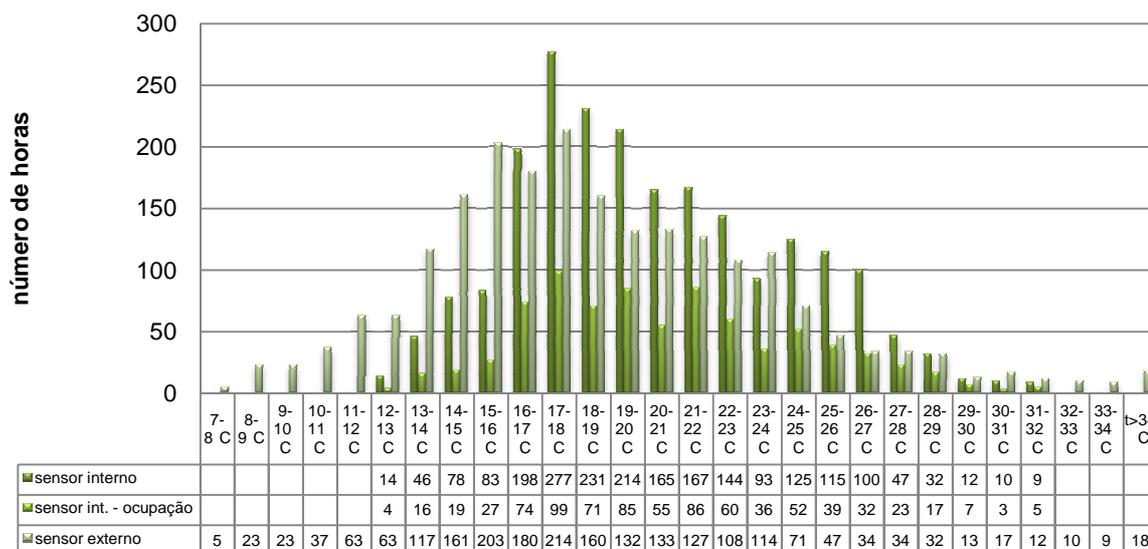


Figura 54: histograma das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - outono - CPVAC

O conforto, externamente, correspondeu a 992 horas (45,9%) das 2.160 horas analisadas. O desconforto por calor correspondeu a 79 horas (3,7%) e o desconforto por frio correspondeu a 1.089 horas (50,4%).

Considerando que, a maior incidência de desconforto esta associada às baixas temperaturas e, fixando o limite de conforto para 16°C (devido à aclimação em baixas temperaturas) e, posteriormente, para 14°C, as condições de desconforto, externamente, são reduzidas para 695 horas (32,2%) e 331 horas (15,3%), respectivamente.

O conforto, internamente, correspondeu a 1433 horas (66,3%). O desconforto por calor, correspondeu a 31 horas (1,5%) e o desconforto por frio correspondeu a 696 horas (32,2%).

Considerando o limite de conforto para 16°C e, posteriormente, para 14°C, as condições de desconforto, internamente, são reduzidas para 221 horas (10,2%) e para 60 horas (2,8%), respectivamente.

Considerando somente o período de ocupação da Escola, o conforto correspondeu a 556 horas (68,6%). O desconforto por calor correspondeu a 15 horas (1,9%) e o desconforto por frio correspondeu a 239 horas (29,5%).

#### 4.2.1.4 Carta Bioclimática

As cartas psicrométricas foram obtidas pelo programa *Analysis Bio*, a partir dos dados de temperatura e umidade relativa, para o exterior e o interior da escola.

A Figura 55 ilustra as cartas psicrométricas, para o sensor externo e interno (período total de medições e período de ocupação), no outono.

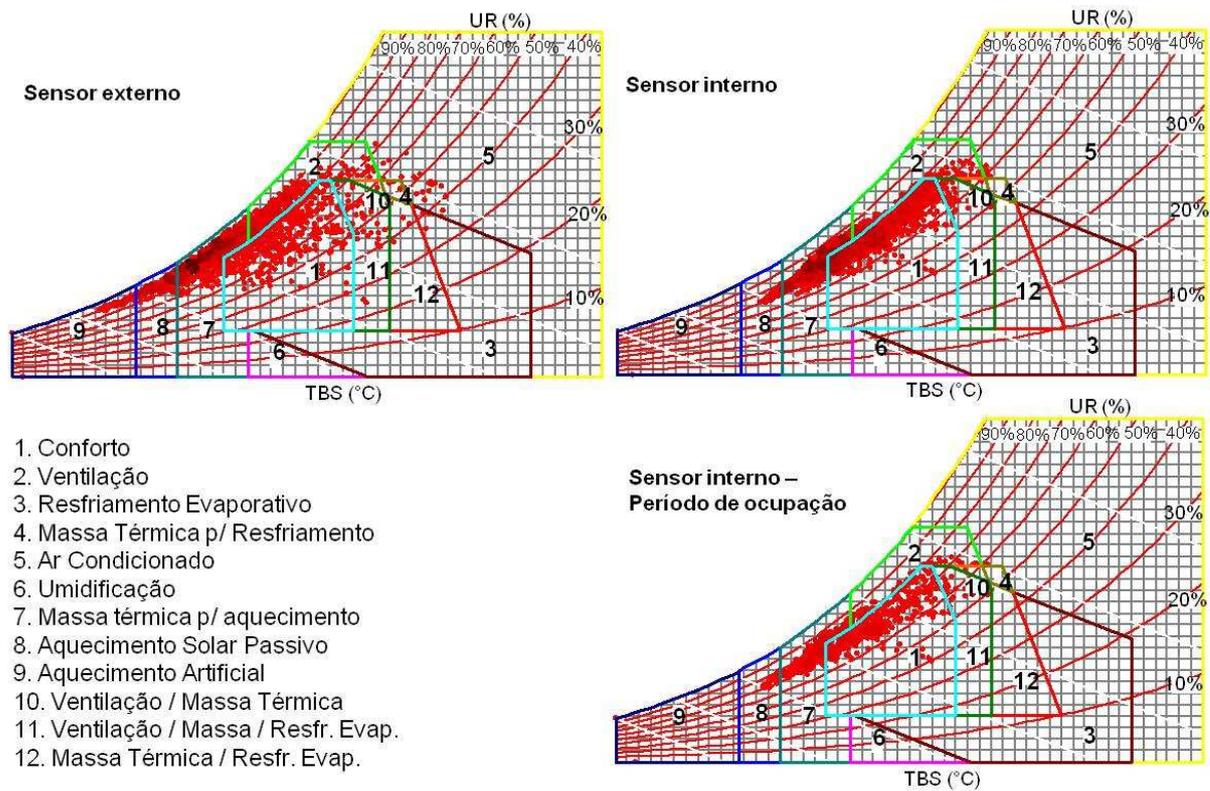


Figura 55: cartas psicrométricas dos sensores – outono – CPVAC

Em condição externa, o conforto higrotérmico correspondeu a 20,5% (443 horas) do período de monitoramento (2.160 horas analisadas). O desconforto foi de 79,5% (1.717 horas); em relação ao calor, foi de 18,7% (404 horas) e, em relação ao frio, foi de 60,8% (1.313 horas).

Em condição interna, o conforto higrotérmico correspondeu a 51,2% (1.106 horas) do período de monitoramento (2.160 horas analisadas). O desconforto foi de 48,8% (1.054 horas); em relação ao calor, foi de 8,87% (192 horas) e, em relação ao frio, foi de 39,93% (862 horas).

As estratégias recomendadas, para o desconforto ao calor, internamente, são:

- a) Ventilação, com 7,05% (152 horas); atenua as altas temperaturas e dissipa a umidade do ambiente;
- b) Ar condicionado, com 0,23% (5 horas);
- c) E a combinação de estratégias: ventilação e massa térmica para resfriamento, com 0,19% (4 horas); e ventilação, massa térmica para resfriamento e resfriamento evaporativo, com 1,40% (30 horas).

E as estratégias recomendadas, para o desconforto ao frio, internamente, são:

- a) Massa térmica com aquecimento solar, com 37,1% (801 horas);
- b) Aquecimento solar passivo, com 2,83% (61 horas).

Considerando somente o período de ocupação da Escola, o conforto higrotérmico correspondeu a 52,5% (425 horas) do período de monitoramento (810 horas). O desconforto foi de 47,5% (385 horas); em relação ao frio, foi de 37% (300 horas) e, em relação ao calor, foi de 10,5% (85 horas).

As estratégias recomendadas podem ser visualizadas abaixo, na Tabela 19.

Tabela 19: relatório dos sensores - outono – CPVAC

CPVAC - outono				
		Sensor externo	Sensor interno	Sensor int. - ocupação
	<b>Conforto</b>	<b>20,5%</b>	<b>51,2%</b>	<b>52,5%</b>
	<b>Desconforto</b>	<b>79,5%</b>	<b>48,8%</b>	<b>47,5%</b>
	Calor	18,7%	8,87%	10,5%
	Frio	60,8%	39,93%	37,0%
Estratégias para condições internas				
<b>Desconforto</b>	Ventilação		7,05%	8,15%
	Resfriamento Evaporativo		-	-
	Massa Térmica p/ Resfriamento		-	-
	Ar condicionado		0,23%	0,25%
	Ventilação / Massa Térmica p/ Resfriamento		0,19%	0,25%
	Ventilação / Massa Resfr./ Resfr. Evaporativo		1,40%	1,85%
	Massa Térmica / Resfriamento Evaporativo		-	-
	Massa Térmica / Aquecimento Solar		37,1%	34,5%
	Aquecimento Solar Passivo		2,83%	2,5%
	Aquecimento Artificial		-	-

#### 4.2.1.5 Considerações sobre conforto térmico

Na Tabela 20 são apresentados os resultados resumidos, em percentuais, das horas de conforto na sala de aula do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí, no outono.

Tabela 20: resumo do conforto térmico na sala de aula (CPVAC) – outono - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação

CPVAC - outono		
	Histograma (faixas de temperatura de conforto)	Carta psicrométrica de Givoni
Período de medições	66,3%	51,2%
Período de ocupação	68,6%	52,5%

De acordo com a carta psicrométrica, o percentual de conforto térmico, na sala de aula, foi de 51,2% e, considerando o período de ocupação, o percentual de conforto foi de 52,5%.

## 4.2.2 Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico

As medições neste período ficaram compreendidas entre a 0h, do dia 20 de março de 2010 e as 23h, do dia 20 de junho de 2010, excluindo destes, a faixa de dados entre as 11 horas, do dia 19 de maio e as 10 horas, do dia 22 do referido mês, justificada pela ausência de dados do estudo anterior e, compatibilização das análises. Foram validadas 2160 aquisições e, 90 dias de medições. O período de ocupação do edifício correspondeu a 810 aquisições.

### 4.2.2.1 Temperatura do ar

O menor valor de temperatura ocorreu às 3 horas (2h36min, hora solar) do dia 10 de junho, registrando, externamente, 10,0°C e, internamente, 13,7°C. Nas horas seguintes, internamente, houve um declínio gradual da temperatura, até atingir 13,3°C (mínima do outono), às 7 horas. O amortecimento foi de 3,3K e o atraso térmico foi de quatro horas.

O maior valor de temperatura ocorreu às 15 horas (14h36min, hora solar), do dia 01 de abril, registrando, externamente, 32,6°C e, internamente, 28,2°C (valor máximo diário). O amortecimento foi de 4,4K e não houve atraso térmico.

No entanto, o maior valor de temperatura, internamente, ocorreu às 15 horas, do dia 19 de abril, registrando 29,1°C (a máxima temperatura, externamente, foi de 32,0°C às 16 horas). O amortecimento foi de 2,9K e houve antecipação da manifestação do valor mínimo de temperatura externo, em uma hora.

A temperatura média do ar externo, no outono, foi de 19,7°C e a temperatura média do ar interno, foi de 20,4°C.

A Figura 56 ilustra as variações de temperatura para o período do outono.

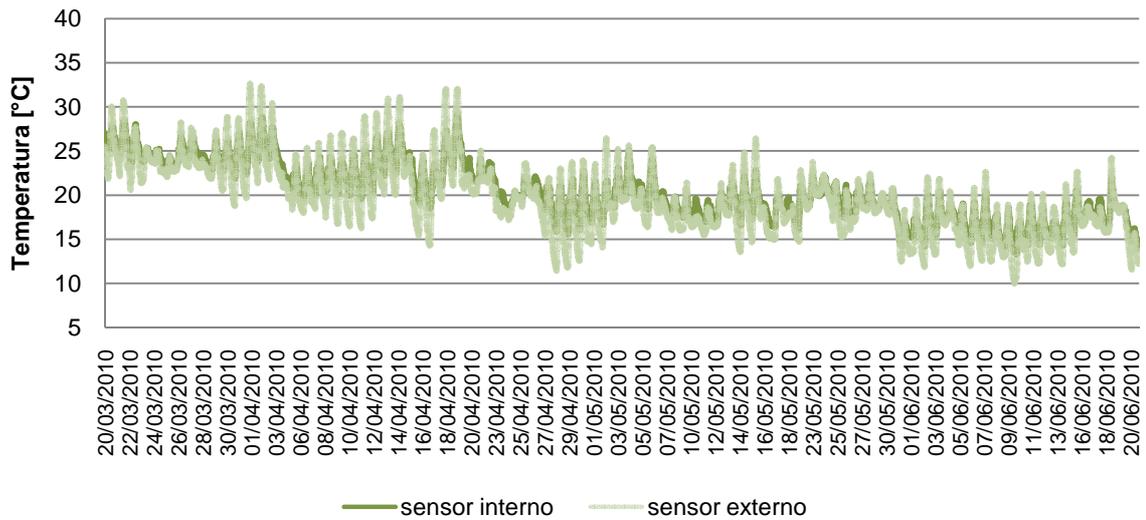


Figura 56: perfil das temperaturas no período de outono – Frei Pacífico

A seguir, são descritas a semana com a menor média das mínimas diárias e a semana com a maior média das máximas diárias.

*Semana com a menor média das mínimas diárias, no outono*

A semana com a menor média das mínimas temperaturas correspondeu ao período de 06 a 12 de junho. Externamente, a média das mínimas diárias foi de 11,9°C e, internamente, foi de 14,4°C. O amortecimento térmico médio foi de 2,4K.

A temperatura média do ar para a semana, externamente, foi de 16,4°C e, internamente, foi de 16,1°C.

A semana apresentou desconforto ao frio ( $t < 18^{\circ}\text{C}$ ), externamente, em 136 horas (81,0%) e, internamente, em 145 horas (86,3%). Embora os valores sejam similares, as temperaturas registradas no interior do edifício, permaneceram no limiar da zona de conforto, enquanto, as temperaturas registradas no exterior do edifício, tiveram um percentual maior de ocorrência em extremos térmicos.

A Figura 57 ilustra as variações de temperatura para esta semana.

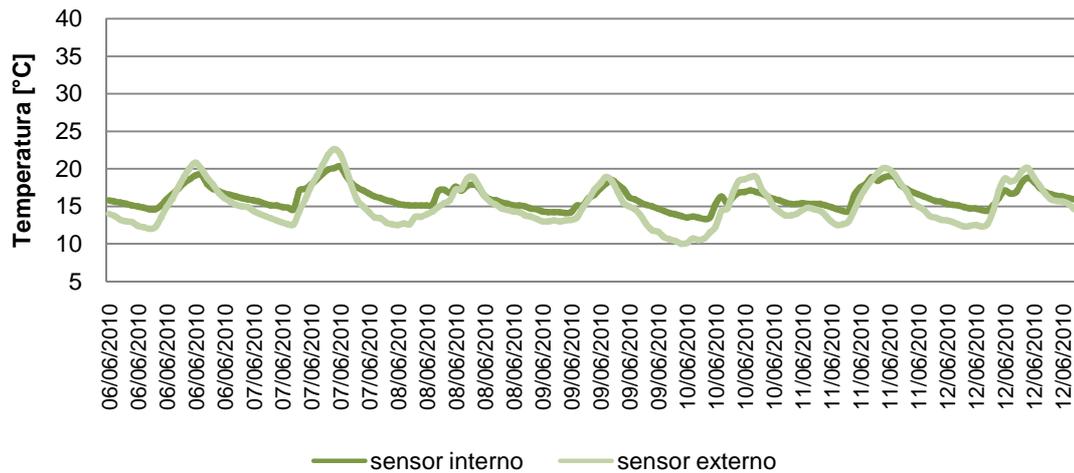


Figura 57: perfil das temperaturas durante a semana com a menor média das mínimas diárias – outono - Frei Pacífico

#### *Semana com a maior média das máximas diárias, no outono*

A semana com a maior média das máximas temperaturas correspondeu ao período de 28 de março a 3 de abril. Externamente, a média das máximas diárias foi de 29,1°C e, internamente, foi de 27,0°C. O amortecimento térmico médio foi de 2,1K.

A temperatura média do ar para esta semana, externamente, foi de 24,4°C e, internamente, foi de 24,8°C.

A semana (168 horas) apresentou desconforto ao calor ( $t > 29^\circ\text{C}$ ), externamente, em 17 horas (10,1%) e, internamente, em 145 horas (86,3%).

A Figura 58 ilustra as variações de temperatura para esta semana

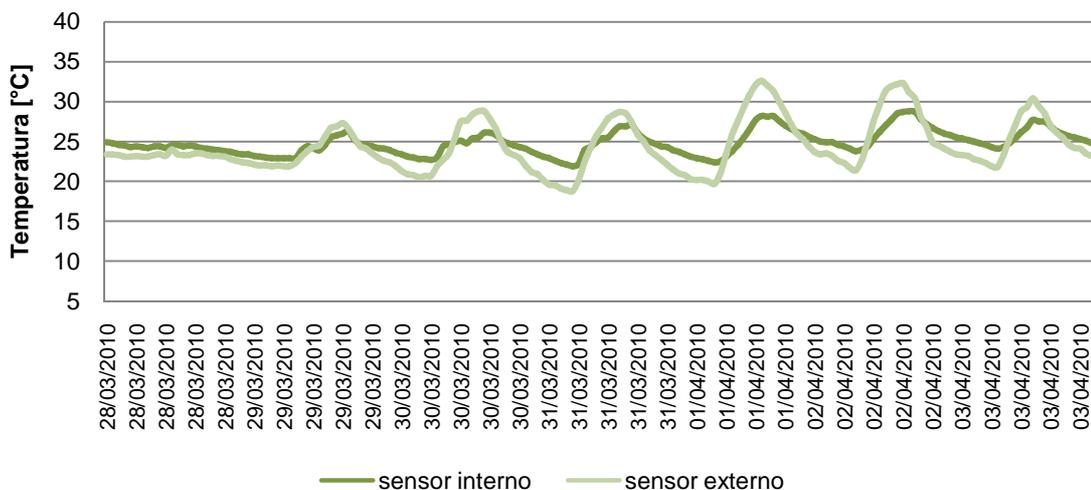


Figura 58: perfil das temperaturas durante a semana com a maior média das máximas diárias – outono - Frei Pacífico

#### 4.2.2.2 Umidade relativa do ar

O menor índice de umidade relativa do ar, externamente, foi de 44,5%, registrado no dia 02 de maio, às 13 horas (12h36min, hora solar). A hora anterior e posterior a esta medição, registrou índices superiores de umidade relativa, respectivamente, 53,5% e 54,8%. Internamente, na mesma medição, o índice de umidade relativa foi de 57,9% (menor valor diário).

O menor índice de umidade relativa, internamente, foi de 47,8%, às 13 horas do dia 08 de abril. Externamente, na mesma medição, o índice de umidade relativa foi de 46,7%.

O maior índice de umidade relativa do ar, externamente, foi de 93,7%, registrado no dia 17 de junho, à 0 hora (16 de Junho, às 23h36min, hora solar). Internamente, na mesma medição, o índice de umidade relativa foi de 87,3%.

O maior valor de umidade relativa, internamente, foi de 89,1%, às 17 horas do dia 29 de maio. Externamente, na mesma medição, o índice de umidade relativa foi de 91,4% (em dia que apresentou, na medição das 10 e 11 horas, valor máximo diário de 92,5%).

A Figura 59 ilustra a ocorrência de umidade relativa, em faixas que contemplam valores: abaixo de 40%, entre 40% e menores que 60%, de 60% a 80% e maiores que 80%.

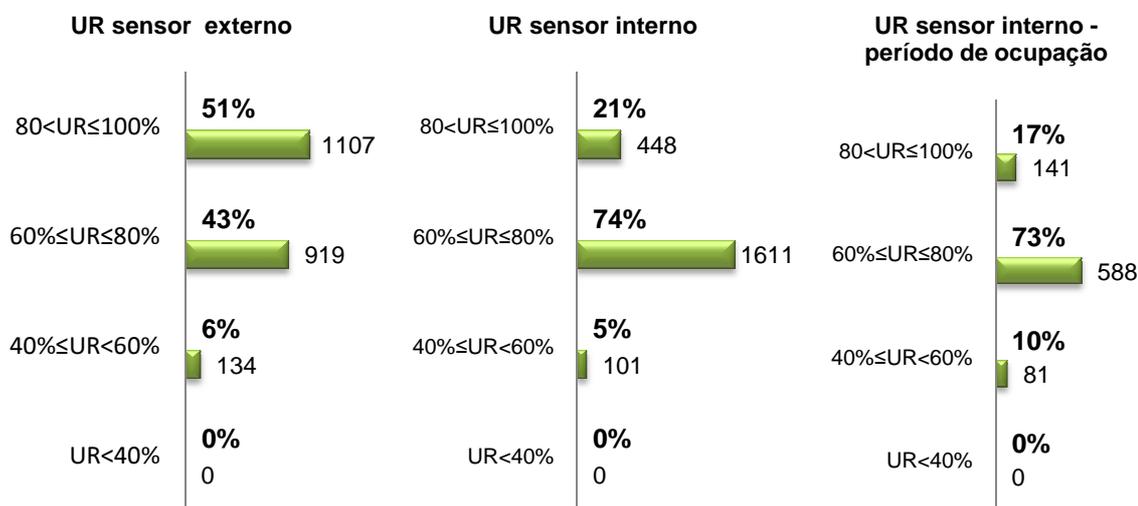


Figura 59: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - outono – Frei Pacífico

O desconforto (acima de 80% de umidade relativa) correspondeu, externamente, a 1.107 horas (51%) e, internamente, correspondeu a 448 horas (21%). O conforto (abaixo de 80%

de umidade relativa) correspondeu, externamente, a 1.053 horas (49%) e, internamente, correspondeu a 1.712 horas (79%), das 2160 horas analisadas.

Considerando somente os períodos de ocupação da Escola (810 horas), o desconforto correspondeu a 141 horas (17%) e o conforto correspondeu a 669 horas (83%).

#### 4.2.2.3 Graus-hora

Para a metodologia graus-hora, é apresentada a Tabela 21, relativa a graus-hora para aquecimento e refrigeração.

Tabela 21: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração – outono – Frei Pacífico

Temp. base	Frei Pacífico - outono								
	Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação		
	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio
14°C	182,6	163	1,12	3,1	8	0,38	1,2	2	0,60
15°C	390,8	247	1,58	34,5	58	0,59	12,1	16	0,76
16°C	714	380	1,87	159,6	178	0,89	38,7	38	1,02
17°C	1.183,1	550	2,15	409,6	322	1,27	99,9	81	1,23
18°C	1.842,9	751	2,45	841,6	517	1,62	208,7	131	1,59
25°C	529,3	204	2,59	287,3	210	1,37	157,6	100	1,58
26°C	355	146	2,43	123,2	114	1,08	76,8	64	1,20
27°C	224,7	100	2,24	40,9	48	0,85	28,6	30	0,95
28°C	138,4	75	1,84	7,4	16	0,46	6,3	12	0,52
29°C	76,4	48	1,59	0,1	1	0,10	0,1	1	0,10

Para a condição de aquecimento, à temperatura-base de 18°C, externamente, foram registradas 751 horas, somatório de 1.842,9 graus-hora e grau-médio de 2,45K. Internamente, foram registradas 517 horas, somatório de 841,6 graus-hora e grau-médio de 1,62K.

Para a condição de refrigeração, à temperatura-base de 29°C, externamente, foram registradas 48 horas, somatório de 76,4 graus-hora e grau-médio de 1,59K. Internamente, foi registrada 1 hora, somatório de 0,1 graus-hora e grau-médio de 0,1K (houve apenas um registro acima dos 29°C, com temperatura de 29,1°C).

Considerando somente o período de ocupação da Escola, ilustrado na Tabela 23, o grau-médio (refrigeração) manteve-se mais elevado que em relação à condição anterior (número total de medições), estando mais elevado nas temperaturas de 25°C e 26°C (para condição de refrigeração). Isto é justificado pela eliminação das temperaturas mais amenas, que no outono, ocorrem à noite, fora do período de utilização da Escola.

Para ilustrar a distribuição da temperatura do ar, no outono, é apresentado o histograma a seguir (Figura 60).

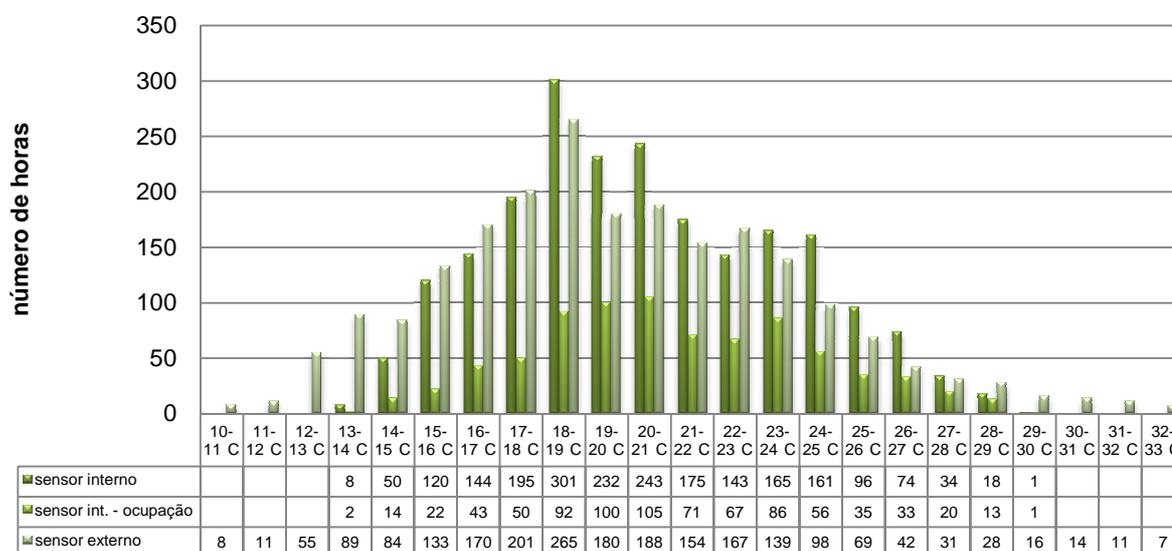


Figura 60: histograma das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - outono - Frei Pacífico

O conforto, externamente, correspondeu a 1.361 horas (63%) das 2.160 horas analisadas. O desconforto por calor correspondeu a 48 horas (2,2%) e o desconforto por frio correspondeu a 751 horas (34,8%).

Considerando que, a maior incidência de desconforto se resume às baixas temperaturas e, fixando o limite de conforto em 16°C e, posteriormente, em 14°C (devido à aclimação em baixas temperaturas), as condições de desconforto, externamente, são reduzidas para 380 horas (17,60%) e 163 horas (7,6%), respectivamente.

Considerando o limite de conforto em 25°C (devido às altas umidades do período) as condições de desconforto (por calor) são ampliadas para 218 horas (10,1%), externamente.

O conforto, internamente, correspondeu a 1.642 horas (76%), das 2.160 horas analisadas. O desconforto por calor correspondeu a 1 hora (0,05%) e o desconforto por frio correspondeu a 517 horas (23,95%).

Considerando o limite de conforto em 16°C e, posteriormente, para a 14°C, as condições de desconforto, internamente, são reduzidas para 178 horas (8,2%) e, para 8 horas (0,4%), respectivamente.

Considerando o limite de conforto em 25°C (devido às altas umidades do período), as condições de desconforto (por calor), internamente, são ampliadas para 223 horas (10,3%).

Considerando somente os períodos de ocupação da Escola, o conforto correspondeu a 678 horas (83,7%). O desconforto por calor correspondeu a 1 hora (0,1%) e o desconforto por frio correspondeu a 131 horas (16,2%).

#### 4.2.2.4 Carta Bioclimática

A Figura 61 ilustra as cartas psicrométricas, para os sensores externo e interno (período total de medições e período de ocupação), no outono.

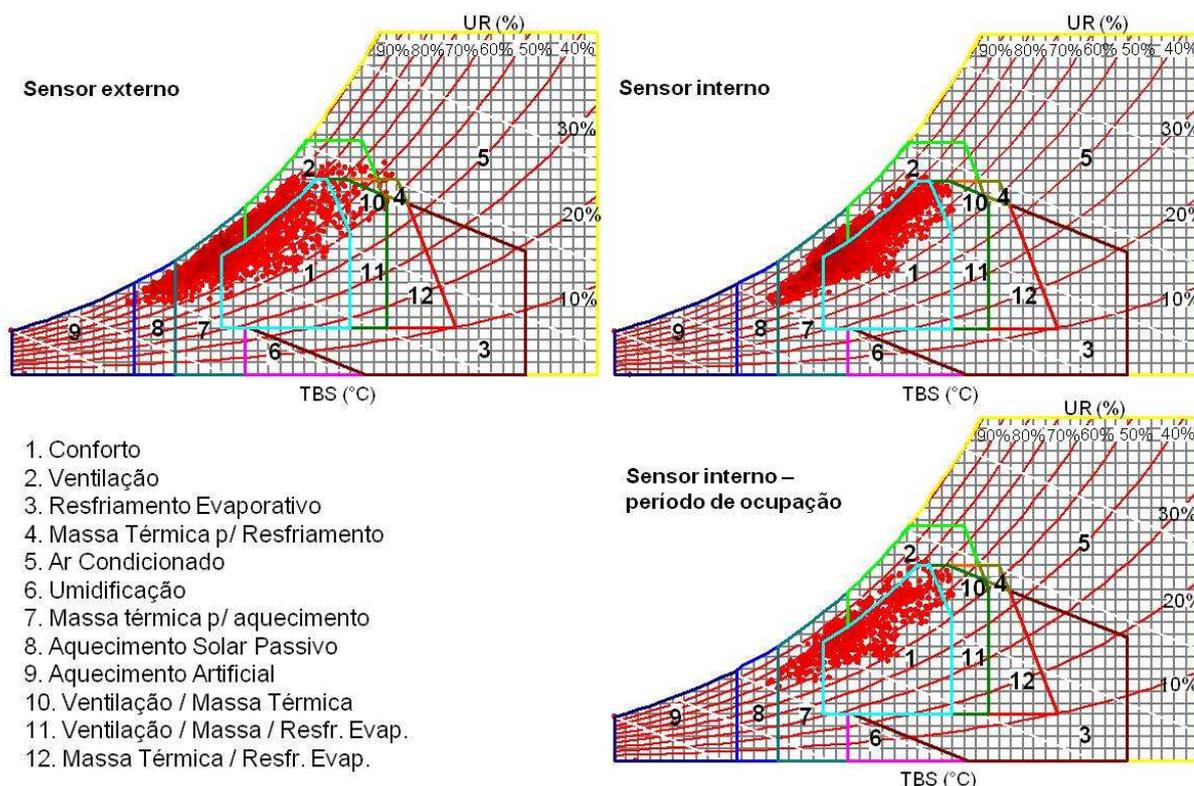


Figura 61: carta psicrométrica dos sensores – outono – Frei Pacifico

Em condição externa, o conforto higrotérmico correspondeu a 31,4% (678 horas) do período de monitoramento (2160 horas). O desconforto foi de 68,6% (1.482 horas); em relação ao calor, foi de 22,2% (480 horas) e, em relação ao frio, foi de 46,4% (1.002 horas).

Em condição interna, o conforto higrotérmico correspondeu a 56% (1.210 horas) do período de monitoramento. O desconforto foi de 44% (950 horas); em relação ao calor, foi de 11,35% (245 horas) e, em relação ao frio, foi de 32,65% (705 horas).

As estratégias recomendadas, para o desconforto ao calor, internamente, são:

- a) Ventilação, com 10% (216 horas);
- b) E a combinação de estratégias - ventilação, massa térmica para resfriamento e resfriamento evaporativo, com 1,35% (9 horas).

E as estratégias recomendadas, para o desconforto ao frio, internamente, são:

- a) Massa térmica com aquecimento solar, com 32,27% (697 horas);
- b) Aquecimento solar passivo, com 0,38% (8 horas).

Considerando somente o período de ocupação da Escola, o conforto higrotérmico correspondeu a 65,9% (534 horas) do período de monitoramento (810 horas). O desconforto correspondeu a 34,1% (276 horas); em relação ao frio, foi de 23% (186 horas) e, em relação ao calor, foi de 11,1% (90 horas).

As estratégias recomendadas podem ser visualizadas abaixo, na Tabela 22.

Tabela 22: relatório dos sensores - outono – Frei Pacífico

<b>Frei Pacífico - outono</b>			
	<b>Sensor externo</b>	<b>Sensor interno</b>	<b>Sensor int. - ocupação</b>
<b>Conforto</b>	<b>31,4%</b>	<b>56%</b>	<b>65,9%</b>
<b>Desconforto</b>	<b>68,6%</b>	<b>44%</b>	<b>34,1%</b>
Calor	22,21%	11,35%	11,1%
Frio	46,39%	32,65%	23%
<b>Estratégias para condições internas</b>			
<b>Desconforto</b>	Ventilação		10%
	Resfriamento Evaporativo		-
	Massa Térmica p/ Resfriamento		-
	Ar condicionado		-
	Ventilação / Massa Térmica p/ Resfriamento		-
	Ventilação / Massa Resfr./ Resfr. Evaporativo		1,35%
	Massa Térmica / Resfriamento Evaporativo		-
	Massa Térmica / Aquecimento Solar		32,27%
Aquecimento Solar Passivo		0,38%	
Aquecimento Artificial		-	

#### 4.2.2.5 Considerações sobre o conforto térmico

Na Tabela 23 são apresentados os resultados resumidos, em percentuais, das horas de conforto na sala de aula da Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico, no outono.

Tabela 23: resumo do conforto térmico na sala de aula (Frei Pacífico) – outono - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação

<b>Frei Pacífico - outono</b>		
	<b>Histograma (faixas de temperatura de conforto)</b>	<b>Carta psicrométrica de Givoni</b>
Período de medições	76,0%	56,0%
Período de ocupação	83,7%	65,9%

De acordo com a carta psicrométrica, o percentual de conforto térmico, na sala de aula, foi de 56,0% e, considerando o período de ocupação, o percentual de conforto foi de 65,9%.

## 4.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO NO INVERNO

### 4.3.1 Centro de Educação Profissional do Vale do Caí

O período de coleta de dados iniciou às 0h, do dia 21 de junho de 2010 e, deveria se estender até às 23h, do dia 22 de setembro de 2010. No entanto, a partir do dia 16 agosto de 2010 iniciou-se as obras de correção dos problemas estruturais do telhado da Escola (referido no capítulo 2, *estudo de caso*), sendo necessária a remoção dos sensores nesta data, com a última medição horária ocorrendo às 8 horas. Dessa forma, das 2256 aquisições horárias previstas, foram registradas 1353 aquisições. O período de ocupação<sup>34</sup> do edifício correspondeu a 520 aquisições.

#### 4.3.1.1 Temperatura do ar

O menor valor de temperatura ocorreu às 7 horas (6h36min, hora solar) do dia 15 de Julho, registrando 3,2°C, externamente. Internamente, nesta medição horária, a temperatura foi de 8,7°C e, atingiu, às 8 horas, o menor valor de temperatura para o período, de 8,6°C. O amortecimento térmico foi de 5,4K e o atraso térmico de uma hora.

O maior valor de temperatura ocorreu às 13 horas (12h36min, hora solar), do dia 07 de julho, registrando 31,4°C, externamente. Internamente, nesta medição horária, a temperatura foi de 24,3°C e, atingiu, às 15 horas, o maior valor de temperatura, de 26,7°C. O amortecimento térmico de 4,7K e o atraso térmico foi de duas horas.

A temperatura média do ar externo, para o inverno, foi de 14,4°C e a temperatura média do ar interno foi de 15,6°C.

A Figura 62 ilustra as variações de temperatura no período do inverno.

---

<sup>34</sup> Para o período do inverno, foram descartados os fins de semana e horários fora do período de utilização da Escola (7h-19h).

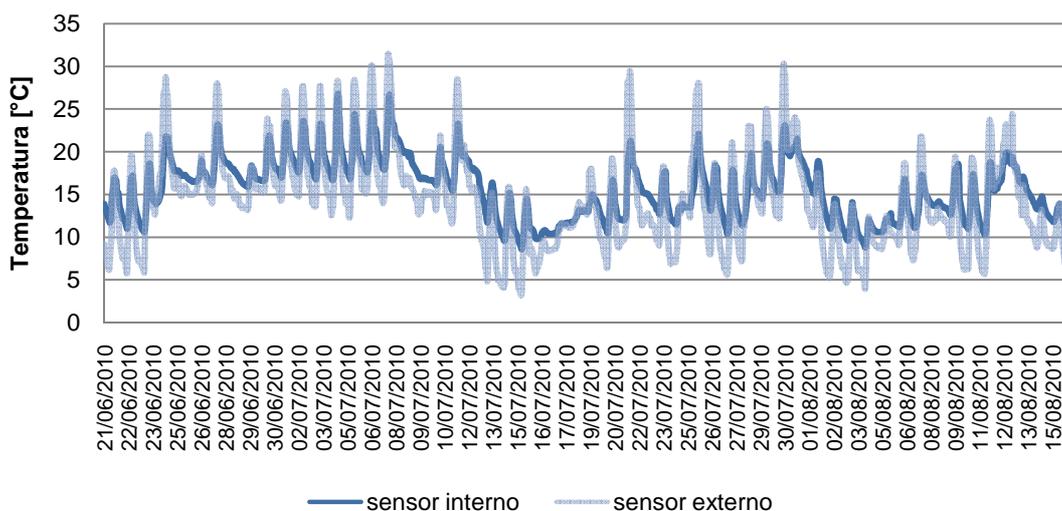


Figura 62: perfil das temperaturas no período de inverno – CPVAC

A seguir, são descritas a semana com a menor média das mínimas diárias e a semana com a maior média das máximas diárias.

*Semana com a menor média das mínimas diárias, no inverno*

A semana com a menor média das mínimas temperaturas ocorreu entre os dias 11 e 17 de julho. A semana iniciou com temperaturas elevadas para o período, até que o ambiente externo foi submetido à uma frente fria, reduzindo, abruptamente, as temperaturas (Figura 63). Assim, os dias que se seguiram apresentaram temperaturas muito baixas, que corresponderam às mínimas registradas para o período do inverno.

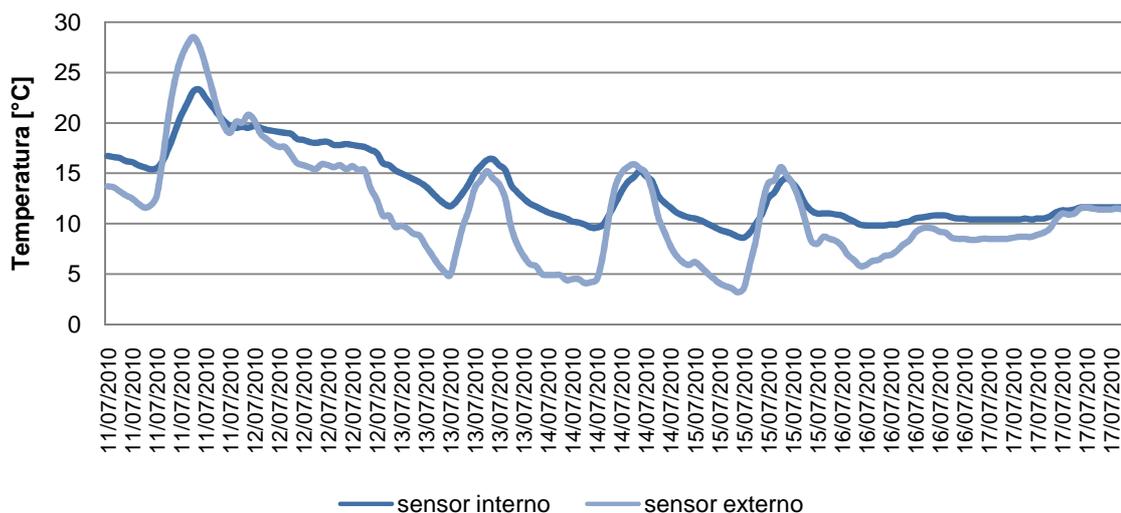


Figura 63: perfil das temperaturas durante a semana com a menor média das mínimas diárias - inverno - CPVAC

Em condição externa, a média das mínimas temperaturas foi de 7°C e, em condição interna, a média das mínimas temperaturas foi de 11,5°C. O amortecimento térmico médio foi de 4,5K.

A temperatura média do ar para esta semana, externamente, foi de 11,3°C, e, internamente, foi de 13,5°C. Deve-se levar em consideração que, os dois primeiros dias elevaram a média das temperaturas desta semana.

A semana (168 horas) apresentou desconforto ao frio ( $t < 18^\circ\text{C}$ ), externamente, em 151 horas (89,9%) e, internamente, em 142 horas (84,5%).

#### *Semana com a maior média das máximas diárias, no inverno*

A semana com a maior média das máximas temperaturas ocorreu do dia 4 a 10 de julho. A semana iniciou com altas temperaturas (Figura 64), em razão da atuação de uma massa de ar quente. Após os quatro primeiros dias, houve redução nas temperaturas, resultando em temperaturas mais amenas.

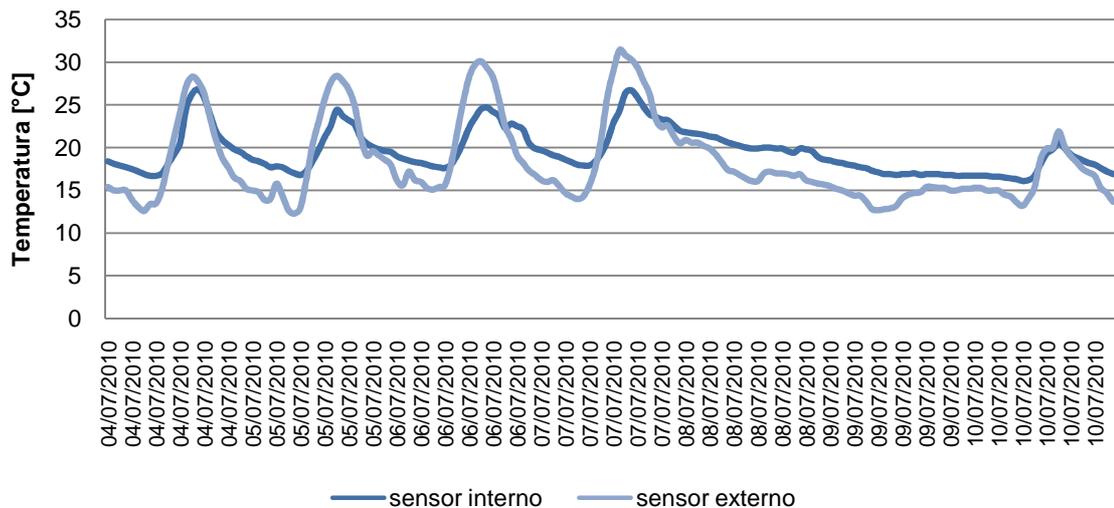


Figura 64: perfil das temperaturas durante a semana com a maior média das máximas diárias - inverno - CPVAC

Em condição externa, a média das máximas temperaturas foi de 25,3°C e, em condição interna, a média das máximas temperaturas foi de 23,2°C. O amortecimento térmico médio foi de 2,1K.

A temperatura média do ar para esta semana, externamente, foi de 18,3°C e, internamente, foi de 19,6°C.

A semana (168 horas) apresentou desconforto ao calor ( $t > 27^\circ\text{C}$ ), externamente, em 17 horas (10,1%) e, internamente, não houve registro. Ainda, a semana apresentou desconforto

ao frio ( $t < 18^{\circ}\text{C}$ ), externamente, em 103 horas (61,3%), e, internamente, em 54 horas (32,1%).

#### 4.3.1.2 Umidade relativa do ar

O valor mínimo de umidade relativa do ar, externamente, foi de 35,5%, registrado às 16h (15h36min, hora solar), do dia 7 de julho (desde as 13 horas estava sob efeito de valores baixos de umidade relativa). Internamente, o valor mínimo diário foi de 44,9%, às 16h.

O valor máximo de umidade relativa do ar, externamente, foi de 95%, registrado às 5h, do dia 19 de julho. Após esta medição, os valores externos começaram a reduzir; às 9h tornaram a ascender, até atingirem a faixa dos 90% de umidade, às 11h. Internamente, o valor máximo diário foi de 89,3%, às 11h.

No entanto, internamente, os registros mínimos e máximos de umidade relativa, para o inverno, foram outros. O menor valor foi de 44,8%, às 14h, do dia 13 de julho (externamente, para a medição das 14h, o valor foi de 40,8%; valor mínimo externo foi de 39,8%, às 15h); e o maior valor foi de 92,5%, às 16h, do dia 28 de julho (externamente, para a medição das 16h, o valor foi de 78,7%; o valor máximo externo foi de 92,5%, às 5h).

A Figura 65 ilustra a ocorrência de umidade relativa em faixas que contemplam valores: abaixo de 40%, entre 40% e menores que 60%, de 60% a 80% e maiores que 80%.

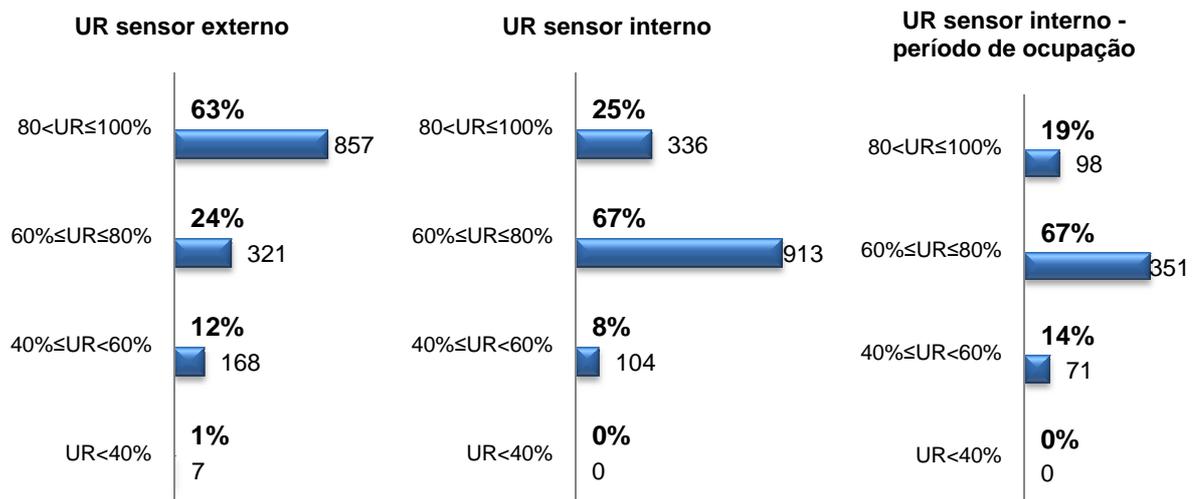


Figura 65: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - inverno – CPVAC

O desconforto (acima de 80% de umidade relativa) correspondeu, externamente, a 857 horas (63%) e, internamente, a 336 horas (25%). O conforto correspondeu, externamente, a 496 horas (37%) e, internamente, a 1017 horas (75%), de um total de 1353 horas.

Considerando somente o período de ocupação da Escola (520 horas), o desconforto correspondeu a 98 horas (19%) e o conforto correspondeu a 422 horas (81%).

#### 4.3.1.3 Graus-hora

A partir da metodologia de graus-hora, a Tabela 24 apresenta os valores para as condições de aquecimento e refrigeração.

Tabela 24: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração – inverno – CPVAC

Temp. base	CPVAC - inverno								
	Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação		
	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio
14°C	2.681,4	671	4,00	1.051,5	511	2,06	338,6	147	2,30
15°C	3.389,7	736	4,60	1.617,4	606	2,67	508,3	188	2,70
16°C	4.224,4	890	4,75	2.277,6	696	3,27	728,5	237	3,07
17°C	5.161,0	973	5,30	3.046,4	851	3,58	989,1	289	3,42
18°C	6.181,7	1.056	5,85	3.971,6	986	4,00	1.321,2	366	3,61
25°C	177,0	73	2,42	7,9	6	1,32	4	3	1,33
26°C	109,9	56	1,96	2,2	4	0,55	1,1	2	0,55
27°C	58,9	41	1,4	0	0	-	0	0	-
28°C	26,7	21	1,27	0	0	-	0	0	-
29°C	10,3	11	0,94	0	0	-	0	0	-

Para a condição de aquecimento, à temperatura-base de 18°C, externamente, foram registradas 1.056 horas, somatório de 6.181,7 graus-hora e grau-médio de 5,85K. Internamente, foram registradas 986 horas, somatório de 3.971,6 graus-hora e grau-médio de 4,0K.

Para a condição de refrigeração, à temperatura-base de 27°C, externamente, foram registradas 41 horas, somatório de 58,9 graus-hora e grau-médio de 1,4K. Não houve registro, internamente, para esta temperatura-base.

Considerando somente o período de ocupação da Escola, ilustrado na Tabela 15, o grau-médio (aquecimento) demonstrou redução das baixas temperaturas, em relação à condição anterior (número total de medições). Isto se deve à desconsideração dos dados noturnos, em que se registram as temperaturas mais baixas no inverno e, que, estão fora do período de ocupação da escola.

Para ilustrar a distribuição da temperatura do ar, no inverno, é apresentado o histograma a seguir (Figura 66).

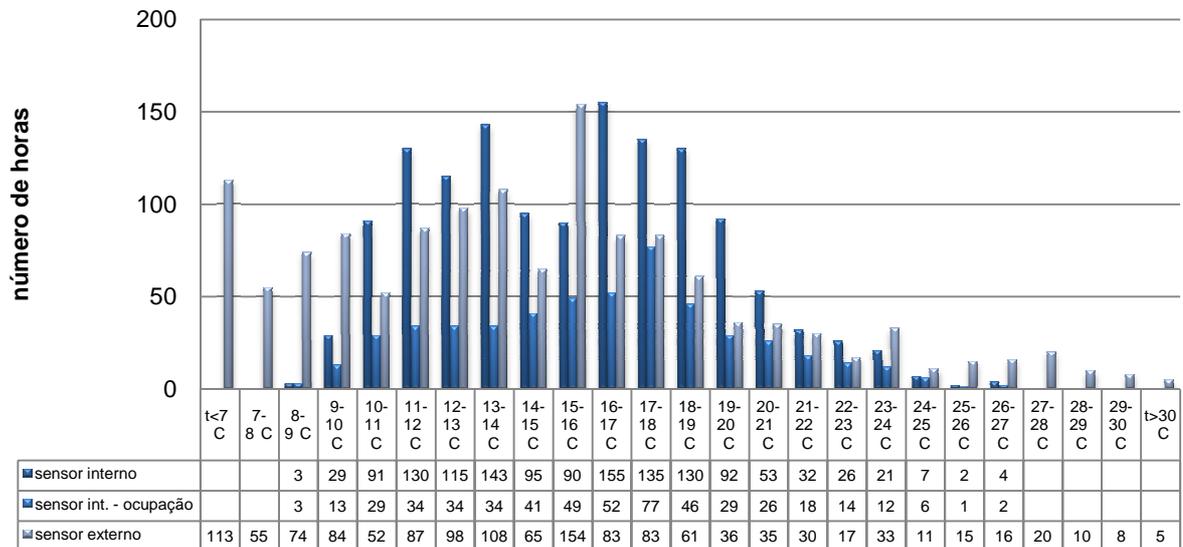


Figura 66: histograma das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - inverno – CPVAC

O conforto, externamente, correspondeu a 254 horas (18,8%) das 1.353 horas analisadas. O desconforto por calor correspondeu a 43 horas (3,2%) e o desconforto por frio correspondeu a 1.056 horas (78%).

Na análise das temperaturas mínimas, se utilizarmos como referência a temperatura-base de 16°C e, posteriormente, a de 14°C, o desconforto, externamente, é reduzido para 890 horas (65,8%) e para 671 horas (49,6%), respectivamente.

O conforto, internamente, correspondeu a 367 horas (27,1%). O desconforto por calor foi nulo e o desconforto por frio correspondeu a 986 horas (72,9%).

No que concerne às temperaturas mínimas, se utilizarmos como referência a temperatura-base de 16°C e, posteriormente, a de 14°C, o desconforto, internamente, é reduzido para 696 horas (51,4%) e, para 511 horas (37,8%), respectivamente.

Considerando somente o período de ocupação da Escola, o conforto correspondeu a 154 horas (29,6%). O desconforto por calor foi nulo e o desconforto por frio correspondeu a 366 horas (70,4%).

#### 4.3.1.4 Carta Bioclimática

A Figura 67 ilustra as cartas psicrométricas, para os sensores externo e interno (período total de medições e período de ocupação), no inverno.

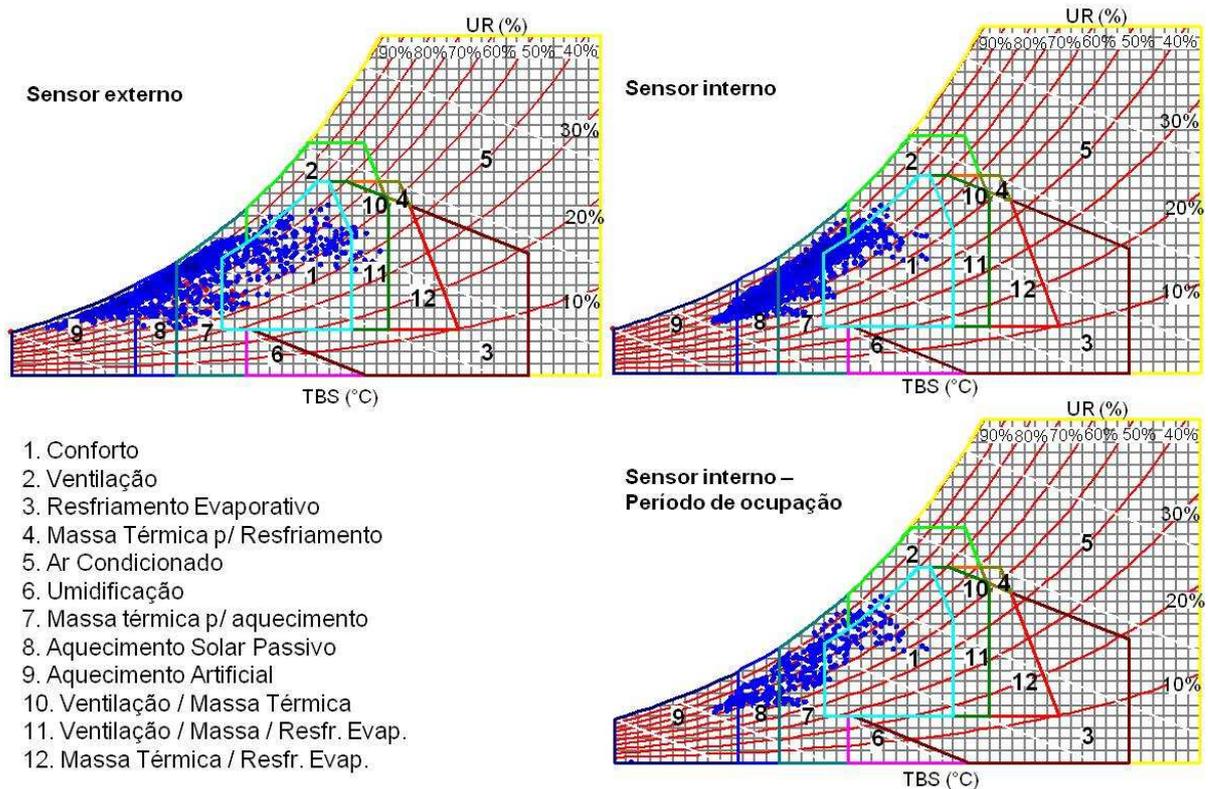


Figura 67: carta psicrométrica dos sensores – inverno – CPVAC

O inverno se caracterizou por baixas temperaturas e umidades relativas elevadas. Na maior parte do tempo, a situação foi de desconforto higrotérmico.

Em condição externa, o conforto higrotérmico correspondeu a 18,2% (246 horas) do período de monitoramento (1353 horas analisadas). O desconforto foi de 81,8% (1107 horas); em relação ao calor, foi de 1,70% (23 horas) e, em relação ao frio, foi de 80,1% (1084 horas).

Em condição interna, o conforto higrotérmico correspondeu a 20,6% (279 horas) do período de monitoramento (1353 horas analisadas). O desconforto foi de 79,4% (1074 horas); em relação ao calor, foi de 1,70% (23 horas) e, em relação ao frio, foi de 77,7% (1051 horas).

As estratégias recomendadas, para o desconforto ao calor, internamente, são:

- a) Ventilação, com 1,70% (23 horas).

E as estratégias recomendadas, para o desconforto ao frio, internamente, são:

- a) Massa térmica combinada com Aquecimento Solar, com 40,8% (552 horas);
- b) Aquecimento Solar Passivo, com 32,2% (436 horas). Nessa estratégia, é necessário um isolamento térmico mais qualificado do ambiente construtivo, a fim de minimizar as perdas térmicas, responsáveis pela redução das condições de conforto. No caso da edificação em períodos sem utilização,

deve-se atentar para frestas existentes nos fechamentos, as quais podem proporcionar perdas de calor;

c) Aquecimento Artificial, com 4,7% (63 horas).

Considerando somente o período de ocupação da Escola, o conforto higrotérmico correspondeu a 20,8% (108 horas) do período de monitoramento (520 horas). O desconforto foi de 79,2% (412 horas); em relação ao calor, foi de 3,4% (18 horas) e, em relação ao frio, foi de 75,8% (394 horas).

As estratégias recomendadas podem ser visualizadas abaixo, na Tabela 25.

Tabela 25: relatório dos sensores - inverno – CPVAC

CPVAC - inverno			
	Sensor externo	Sensor interno	Sensor int. - ocupação
<b>Conforto</b>	<b>18,2%</b>	<b>20,6%</b>	<b>20,8%</b>
<b>Desconforto</b>	<b>81,8%</b>	<b>79,4%</b>	<b>79,2%</b>
Calor	1,70%	1,70%	3,4%
Frio	80,1%	77,7%	75,8%
Estratégias para condições internas			
<b>Desconforto</b>	Ventilação		1,70%
	Resfriamento Evaporativo		-
	Massa Térmica p/ Resfriamento		-
	Ar condicionado		-
	Ventilação / Massa Térmica p/ Resfriamento		-
	Ventilação / Massa Resfr./ Resfr. Evaporativo		-
	Massa Térmica / Resfriamento Evaporativo		-
	Massa Térmica / Aquecimento Solar		40,8%
	Aquecimento Solar Passivo		32,2%
	Aquecimento Artificial		4,7%
			3,4%

#### 4.3.1.5 Considerações sobre o conforto térmico

Na Tabela 26 são apresentados os resultados resumidos, em percentuais, das horas de conforto na sala de aula do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí, no inverno.

Tabela 26: resumo do conforto térmico na sala de aula (CPVAC) – inverno - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação

CPVAC - inverno		
	Histograma (faixas de temperatura de conforto)	Carta psicrométrica de Givoni
Período de medições	27,1%	20,6%
Período de ocupação	29,6%	20,8%

De acordo com a carta psicrométrica, o percentual de conforto térmico, na sala de aula, foi de 20,6% e, considerando o período de ocupação, o percentual de conforto foi de 20,8%.

### 4.3.2 Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico

O período de coleta de dados iniciou às 0h, do dia 21 de junho de 2010 e se estendeu até às 23h, do dia 22 de setembro de 2010. Foram realizadas 2256 aquisições, em 94 dias de medições. O período de ocupação do edifício correspondeu a 884 aquisições.

#### 4.3.2.1 Temperatura do ar

O menor valor de temperatura, externamente, ocorreu às 7 horas (6h36min, hora solar) do dia 13 de julho, registrando 5,8°C. Nesta medição horária, a temperatura interna foi de 11°C. O amortecimento térmico foi de 5,2K e não houve atraso térmico.

O menor valor de temperatura, internamente, no período do inverno, ocorreu às 7 horas, do dia 10 de agosto, registrando, 9,2°C. Nesta medição, a temperatura externa foi de 6,6°C. O amortecimento térmico foi de 2,6K e não houve atraso térmico.

O maior valor de temperatura, externamente, ocorreu às 15 horas (14h36min, hora solar) do dia 23 de agosto, registrando 31,3°C. Nesta medição horária, a temperatura interna foi de 28,6°C (maior valor interno registrado no período do inverno). O amortecimento térmico foi de 2,7K e não houve atraso térmico.

A temperatura média do ar externo, para o inverno, foi de 15,7°C e a temperatura média do ar interno, foi de 16,1°C.

A Figura 68 ilustra as variações de temperatura para o período do inverno.

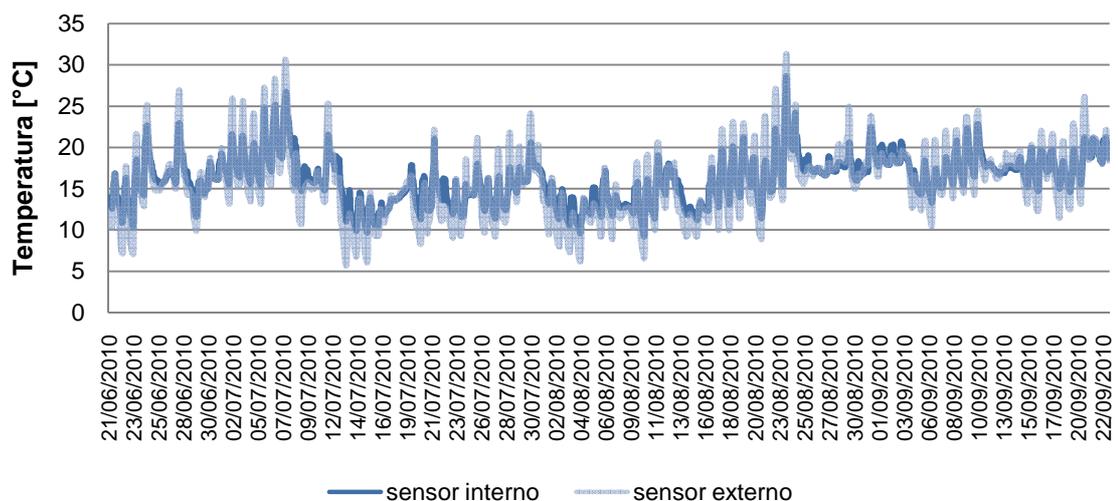


Figura 68: perfil das temperaturas no período de inverno - Frei Pacífico

A seguir, são descritas a semana com a menor média das mínimas diárias e a semana com a maior média das máximas diárias.

### Semana com a menor média das mínimas diárias, no inverno

A semana com a menor média das mínimas temperaturas ocorreu do dia 01 a 08 de agosto. A semana apresentou temperaturas baixas, em sua totalidade. No entanto, este período não corresponde às mínimas absolutas e sim, a uma seqüência de registros de temperaturas, uniformemente baixos (Figura 69).

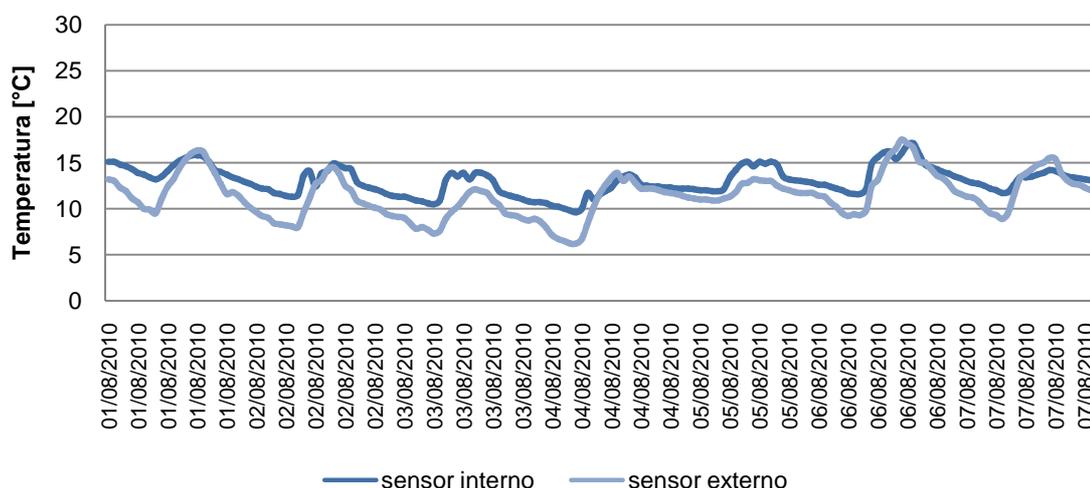


Figura 69: perfil das temperaturas durante a semana com a menor média das mínimas diárias - inverno - Frei Pacífico

Em condição externa, a média das mínimas temperaturas foi de 8,6°C e, em condição interna, a média das mínimas temperaturas foi de 11,4°C. O amortecimento térmico médio foi de 2,8K.

A temperatura média do ar para esta semana, externamente, foi de 11,4°C, e, internamente, foi de 13,0°C.

A semana (168 horas) apresentou desconforto ao frio ( $t < 18^\circ\text{C}$ ), externamente e internamente, em 168 horas, ou seja, em 100% das horas analisadas.

Estabelecendo o comparativo com o estudo de caso anterior, que não teve seu monitoramento do inverno concluído, a Figura 70 ilustra a segunda semana (11 a 17 de julho), que registrou a menor média das mínimas temperaturas para a Escola Frei Pacífico, correspondente à semana com a menor média das mínimas temperaturas para o CPVAC.

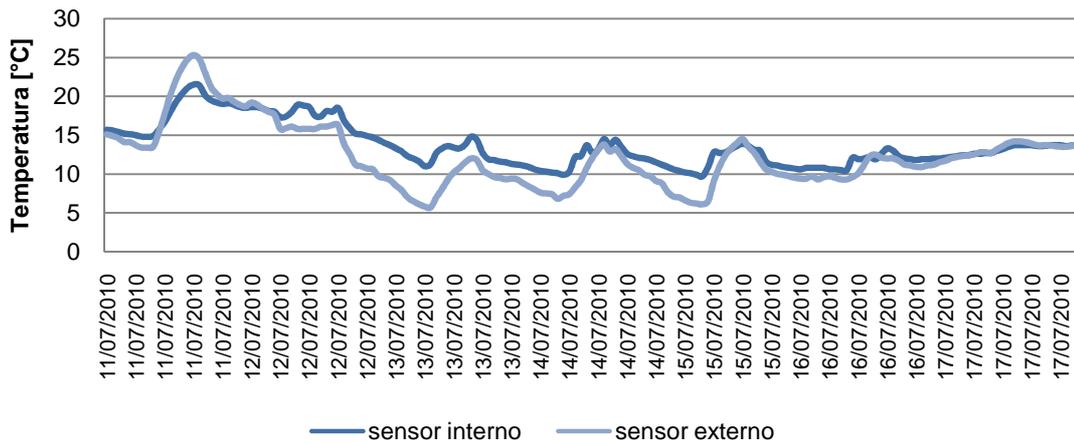


Figura 70: perfil das temperaturas durante a semana com a segunda menor média das mínimas diárias - inverno - Frei Pacífico

*Semana com a maior média das máximas diárias, no inverno*

A semana com a maior média das máximas temperaturas ocorreu do dia 04 a 10 de julho. A semana apresentou, nos primeiros dias, temperaturas mais elevadas e, nos últimos dias, temperaturas mais amenas (Figura 71).

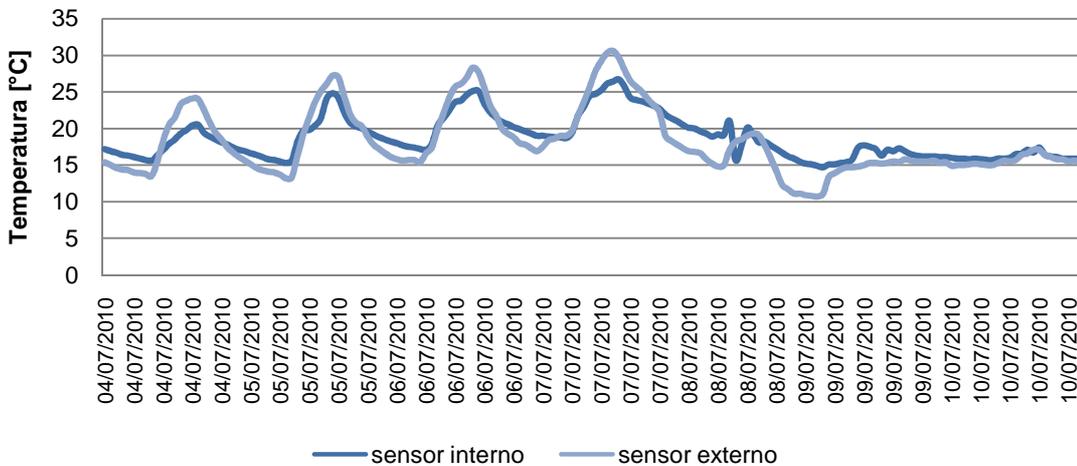


Figura 71: Perfil das temperaturas durante a semana com a maior média das máximas diárias - inverno - Frei Pacífico

Em condição externa, a média das máximas temperaturas foi de 23,2°C e, em condição interna, a média das mínimas temperaturas foi de 22,0°C. O amortecimento térmico médio foi de 1,2K.

A temperatura média do ar para esta semana, externamente, foi de 18,1°C, e, internamente, foi de 18,7°C.

A semana (168 horas) apresentou desconforto ao calor ( $t > 27^{\circ}\text{C}$ ), externamente, em 9 horas (5,3%) e, internamente, não houve registro. Ainda, a semana apresentou desconforto ao frio ( $t < 18^{\circ}\text{C}$ ), externamente, em 103 horas (61,3%) e, internamente, em 86 horas (51,2%).

#### 4.3.2.2 Umidade relativa do ar

O valor mínimo de umidade relativa do ar, externamente, foi de 35,9%, registrado às 15h (14h36min, hora solar), do dia 27 de julho. Internamente, nesta medição horária, o valor de umidade relativa foi de 50,6% e, alcançou o mínimo diário de 50,1%, às 16h.

O valor máximo de umidade relativa do ar, externamente, foi de 94,9%, registrado às 9h, do dia 26 de junho. Internamente, nesta medição horária, o valor de umidade relativa foi de 90,5% e, alcançou o máximo diário de 91,3%, às 18h.

No entanto, internamente, os registros mínimos e máximos de umidade relativa, para o período do inverno, foram outros. O menor valor foi de 41,4%, às 16h, do dia 20 de agosto (externamente, o valor mínimo diário foi 36,4%, às 16h). O segundo menor valor foi de 43,3%, às 14h, do dia 13 de julho (externamente, às 14h, o valor foi de 49,6%; valor mínimo externo foi de 48,1%, às 16h). O maior valor foi de 93,6%, às 8h do dia 13 de setembro (externamente, às 8h, o valor foi de 90,1%; o valor máximo externo foi de 92,1%, às 5h).

A Figura 72 ilustra a ocorrência de umidade relativa em faixas que contemplam valores: abaixo de 40%, entre 40% e menores que 60%, de 60% a 80% e maiores que 80%.

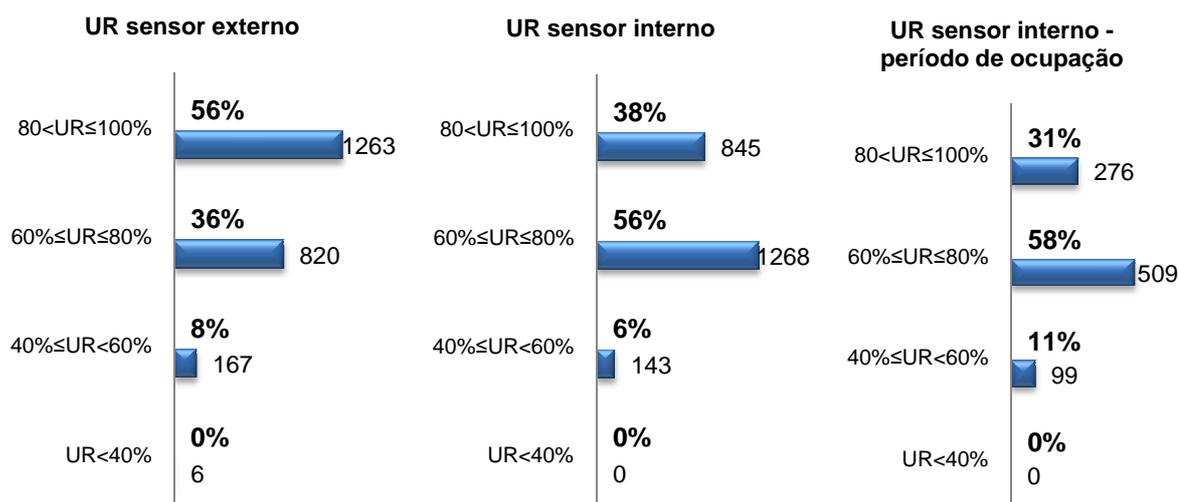


Figura 72: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - inverno – Frei Pacifico

O desconforto (acima de 80% de umidade relativa) correspondeu, externamente, a 1.263 horas (56%) e, internamente, correspondeu a 845 horas (38%). O conforto (abaixo de 80% de umidade relativa) correspondeu, externamente, a 993 horas (44%) e, internamente, correspondeu a 1.411 horas (62%), das 2256 horas analisadas.

Considerando somente o período de ocupação da Escola (884 horas), o desconforto correspondeu a 276 horas (31%) e o conforto correspondeu a 608 horas (69%).

#### 4.3.2.3 Graus-hora

A partir da metodologia de graus-hora, a Tabela 27 apresenta os valores para as condições de aquecimento e refrigeração.

Tabela 27: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração – inverno – Frei Pacífico

Temp. base	Frei Pacífico - inverno								
	Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação		
	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio
14°C	2.093,6	764	2,74	874,6	553	1,58	222,7	151	1,47
15°C	2.953,2	941	3,14	1534,2	752	2,04	411,8	222	1,85
16°C	4.030,4	1.171	3,44	2.444,2	1.051	2,33	693,9	336	2,06
17°C	5.338,7	1.412	3,78	3.648,3	1.325	2,75	1087,8	434	2,51
18°C	6.882,3	1.639	4,20	5.190,4	1.692	3,10	1595,8	565	2,82
25°C	90,2	44	2,05	15,7	11	1,43	15,7	11	1,43
26°C	55,4	28	1,98	7,6	7	1,08	7,6	7	1,08
27°C	33,3	16	2,10	2,9	3	1,00	2,9	3	1,00
28°C	19,9	10	1,99	0,6	1	0,6	0,6	1	0,6
29°C	10,6	9	1,18	0	0	-	0	0	-

Para a condição de aquecimento, à temperatura-base de 18°C, externamente, foram registradas 1.639 horas, somatório de 6.882,3 graus-hora e grau-médio de 4,2K. Internamente, foram registradas 1.692 horas, somatório de 5.190,4 graus-hora e grau-médio de 3,10K.

Para a condição de refrigeração, à temperatura-base de 27°C, externamente, foram registradas 16 horas, somatório de 33,3 graus-hora e grau-médio de 2,10K. Internamente, foram registradas 3 horas, somatório de 2,9 graus-hora e grau-médio de 1,0K.

Considerando somente o período de ocupação da Escola, ilustrado na Tabela 26, o grau-médio (aquecimento) demonstrou redução das baixas temperaturas, em relação à condição anterior (número total de medições). Isto se deve à desconsideração dos dados noturnos, em que se registram as temperaturas mais baixas no inverno e, que, estão fora do período de ocupação da escola.

Para ilustrar a distribuição da temperatura do ar, no inverno, é apresentado o histograma a seguir (Figura 73).

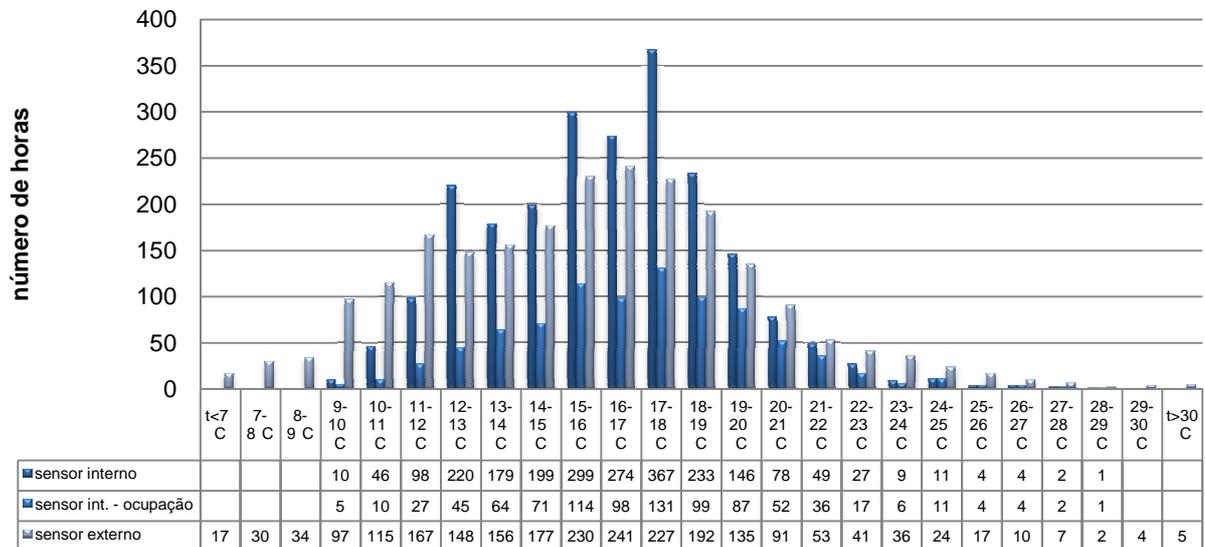


Figura 73: histograma das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - inverno – Frei Pacífico

Externamente, o conforto correspondeu a 599 horas (26,5%) das 2.256 horas analisadas. O desconforto por calor correspondeu a 18 horas (0,8%) e o desconforto por frio correspondeu a 1.639 horas (72,7%).

No tocante às temperaturas mínimas, se utilizarmos como referência a temperatura-base de 16°C e, posteriormente, a de 14°C, o desconforto , externamente, é reduzido para 1.171 horas (51,9%) e, para 764 horas (33,9%), respectivamente.

Internamente, o conforto correspondeu a 561 horas (24,9%), das 2.256 horas analisadas. O desconforto por calor correspondeu a 3 horas (0,1%) e o desconforto por frio correspondeu a 1.692 horas (75%).

Em análise às temperaturas mínimas, se utilizarmos como referência a temperatura-base de 16°C e, posteriormente, a de 14°C, o desconforto , internamente, é reduzido para 1.051 horas (46,6%) e, para 553 horas (24,5%), respectivamente.

Considerando somente o período de ocupação da Escola, o conforto correspondeu a 316 horas (35,7%). O desconforto por calor correspondeu a 3 horas (0,4%) e o desconforto por frio, correspondeu a 565 horas (63,9%).

#### 4.3.2.4 Carta Bioclimática

A Figura 74 ilustra as cartas psicrométricas, para os sensores externo e interno (período total de medições e período de ocupação), no inverno.

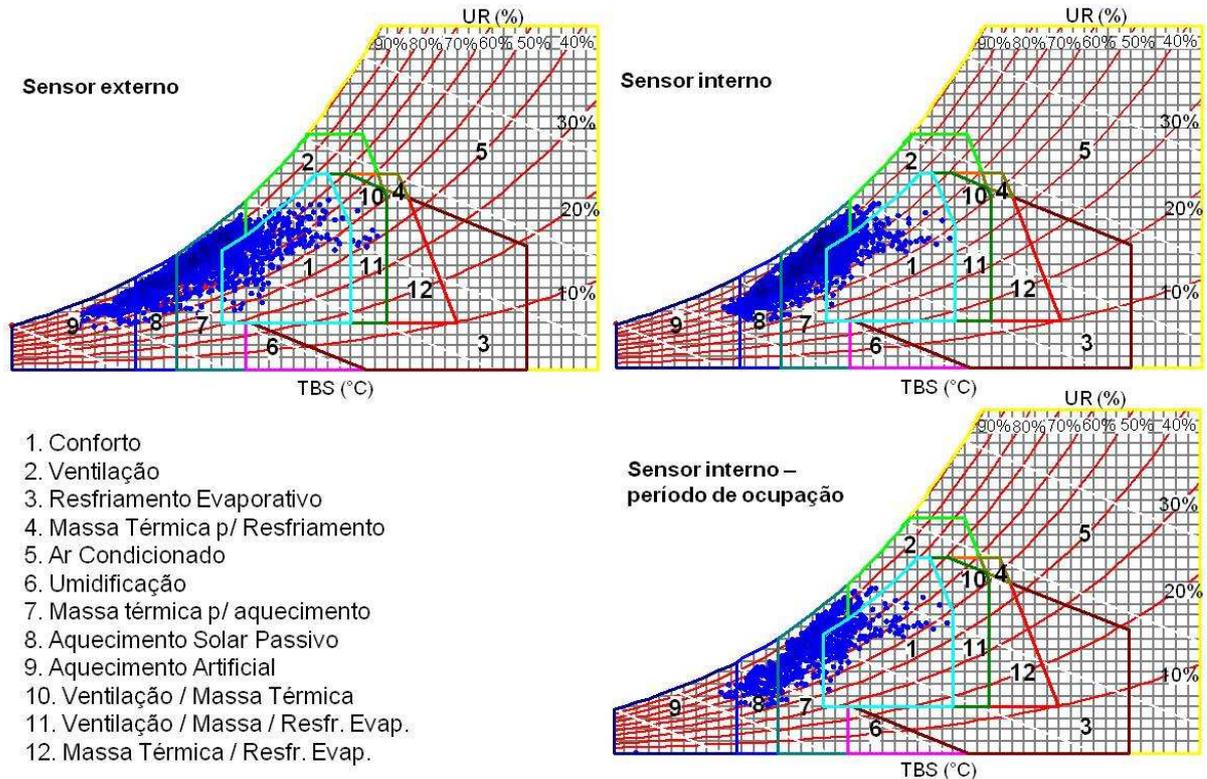


Figura 74: carta psicrométrica dos sensores – inverno – Frei Pacífico

Prevaleceram, para o período, as baixas temperaturas e umidades relativas elevadas, resultando, na maior parte do tempo, em desconforto higrotérmico.

Em condição externa, o conforto higrotérmico correspondeu a 17,8% (402 horas) do período de monitoramento (2256 horas analisadas). O desconforto foi de 82,2% (1854 horas); em relação ao calor, foi de 1,4% (32 horas) e, em relação ao frio, foi de 80,8% (1822 horas).

Em condição interna, o conforto higrotérmico correspondeu a 14,9% (336 horas) do período de monitoramento. O desconforto foi de 85,1% (1920 horas); em relação ao calor, foi de 2,04% (46 horas) e, em relação ao frio, foi de 83,06% (1874 horas).

As estratégias recomendadas, para o desconforto ao calor, internamente, são:

- a) Ventilação, com 2,04% (46 horas).

E as estratégias recomendadas, para o desconforto ao frio, internamente, são:

- a) Massa térmica combinada com Aquecimento Solar, com 59,3% (1338 horas);
- b) Aquecimento Solar Passivo, com 22,6% (510 horas);

c) Aquecimento Artificial, com 1,16% (26 horas).

Considerando somente o período de ocupação da Escola, o conforto higrotérmico correspondeu a 24,3% (215 horas) do período de monitoramento (884 horas). O desconforto foi de 75,7% (669 horas); em relação ao calor, foi de 4% (35 horas) e, em relação ao frio, foi de 71,7% (634 horas).

As estratégias recomendadas podem ser visualizadas abaixo, na Tabela 28.

Tabela 28: relatório dos sensores - inverno - Frei Pacífico

<b>Frei Pacífico - inverno</b>			
	<b>Sensor externo</b>	<b>Sensor interno</b>	<b>Sensor int. - ocupação</b>
<b>Conforto</b>	<b>17,8%</b>	<b>14,9%</b>	<b>24,3%</b>
<b>Desconforto</b>	<b>82,2%</b>	<b>85,1%</b>	<b>75,7%</b>
Calor	1,4%	2,04%	4,0%
Frio	80,8%	83,06%	71,7%
<b>Estratégias para condições internas</b>			
<b>Desconforto</b>	Ventilação		2,04%
	Resfriamento Evaporativo		-
	Massa Térmica p/ Resfriamento		-
	Ar condicionado		-
	Ventilação / Massa Térmica p/ Resfriamento		-
	Ventilação / Massa Resfr./ Resfr. Evaporativo		-
	Massa Térmica / Resfriamento Evaporativo		-
	Massa Térmica / Aquecimento Solar		59,3%
	Aquecimento Solar Passivo		22,6%
	Aquecimento Artificial		1,16%
			4,0%
			-
			-
			-
			-
			-
			55%
			15,9%
			0,8%

#### 4.3.2.5 Considerações sobre o conforto térmico

Na Tabela 29 são apresentados os resultados resumidos, em percentuais, das horas de conforto na sala de aula da Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico, no inverno.

Tabela 29: resumo do conforto térmico na sala de aula (Frei Pacífico) – inverno - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação

<b>Frei Pacífico - inverno</b>		
	<b>Histograma (faixas de temperatura de conforto)</b>	<b>Carta psicrométrica de Givoni</b>
Período de medições	24,9%	14,9%
Período de ocupação	35,7%	24,3%

De acordo com a carta psicrométrica, o percentual de conforto térmico, na sala de aula, foi de 14,9% e, considerando o período de ocupação, o percentual de conforto foi de 24,3%.

## 4.4 ANÁLISE DO DESEMPENHOTÉRMICO NA PRIMAVERA

### 4.4.1 Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico

O período de coleta de dados iniciou às 0h, do dia 23 de setembro de 2010 e, se prolongou, até as 23h, do dia 20 de dezembro de 2010, com total de 2136 aquisições (89 dias), para o sensor interno. O sensor externo apresentou problemas do dia 23 de setembro até 12 de outubro, às 20h; assim, apenas 477 aquisições foram validadas. O período de ocupação<sup>35</sup> do edifício correspondeu a 182 aquisições.

#### 4.4.1.1 Temperatura do ar

O menor valor de temperatura externa ocorreu às 6 horas (5h36min, hora solar) do dia 3 de outubro, registrando, 10,7°C e, internamente, 14,3°C. O menor valor de temperatura interna ocorreu às 7 horas, registrando 14,1°C (mínima da primavera). O amortecimento foi de 3,4K e o atraso térmico foi de uma hora.

O maior valor de temperatura externa ocorreu às 16 horas (15h36min, hora solar) do dia 06 de outubro, registrando, 26,4°C e, internamente, 23,2°C (valor máximo diário). O amortecimento foi de 3,2K e não houve atraso térmico.

No entanto, o maior valor de temperatura interna (máxima da primavera) correspondeu ao período em que o sensor externo não coletou os dados, dia 8 de novembro, às 15 horas (13h36min, hora solar), registrando 31,4°C.

A temperatura média do ar externo, para a primavera, foi de 18,4°C e a temperatura média do ar interno, foi de 18,6°C. Considerando o total de registros internos, a temperatura média do ar interno ascende para 21,1°C.

A Figura 75 ilustra as variações de temperatura para o período da primavera. A faixa de conforto utilizada nesta pesquisa, na primavera, é de 18 a 29°C.

---

<sup>35</sup> Para o período da primavera, foram descartados os fins de semana e horários fora do período de utilização da Escola (7h-19h). Ratifica-se que, o período de utilização refere-se às condições internas; dessa forma, se for baseado nas aquisições totais do sensor interno, que não foi prejudicada, corresponderá a 819 horas e, se for baseado nas aquisições do sensor externo, prejudicada na coleta de dados, corresponderá a 182 horas.

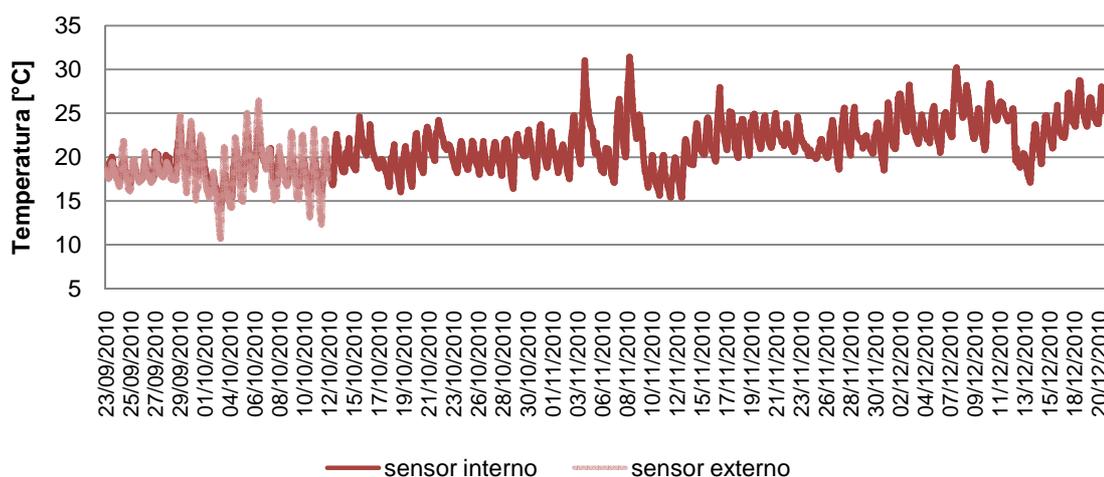


Figura 75: perfil das temperaturas no período de primavera - Frei Pacífico

A seguir, é descrita a semana com a menor média das mínimas diárias. A semana com a maior média das máximas diárias teve sua identificação prejudicada pelos dados faltantes e, foi identificada pelos dados internos de temperatura, impossibilitando o comparativo com seus correspondentes externos.

#### *Semana com a menor média das mínimas diárias, na primavera*

A semana com a menor média das mínimas temperaturas ocorreu do dia 03 a 09 de outubro (Figura 76). Externamente, a média das mínimas temperaturas foi de 14,8°C e, internamente, a média das mínimas temperaturas foi de 16,6°C. O amortecimento térmico médio foi de 1,8K.

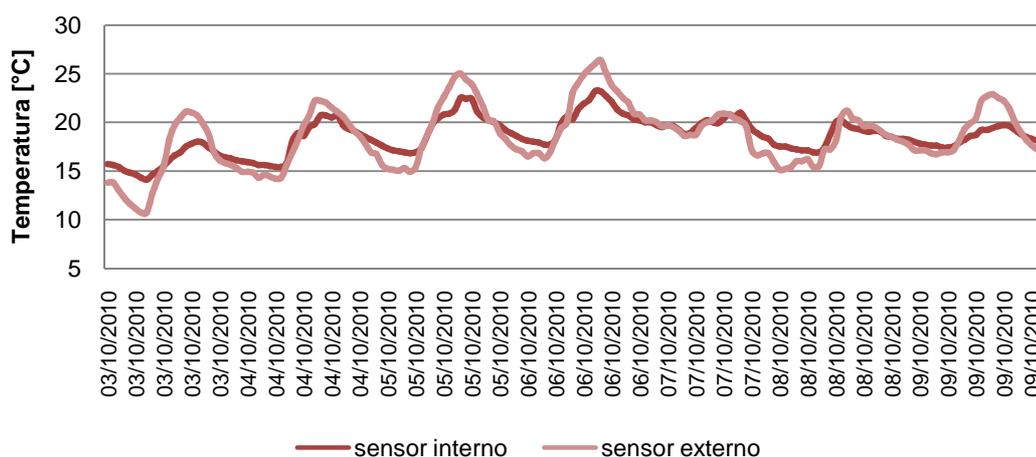


Figura 76: perfil das temperaturas durante a semana com a menor média das mínimas diárias - primavera - Frei Pacífico

A temperatura média do ar para esta semana, externamente e internamente, foi de 18,6°C.

A semana (168 horas) apresentou desconforto ao frio ( $t < 18^{\circ}\text{C}$ ), externamente, em 72 horas (42,8%) e, internamente, em 63 horas (37,5%).

#### *Semana com a maior média das máximas diárias, na primavera*

A semana com a maior média das máximas temperaturas ocorreu do dia 05 a 11 de dezembro (Figura 77), de acordo com os dados internos de temperatura. Internamente, a média das máximas temperaturas foi de  $27,1^{\circ}\text{C}$ .

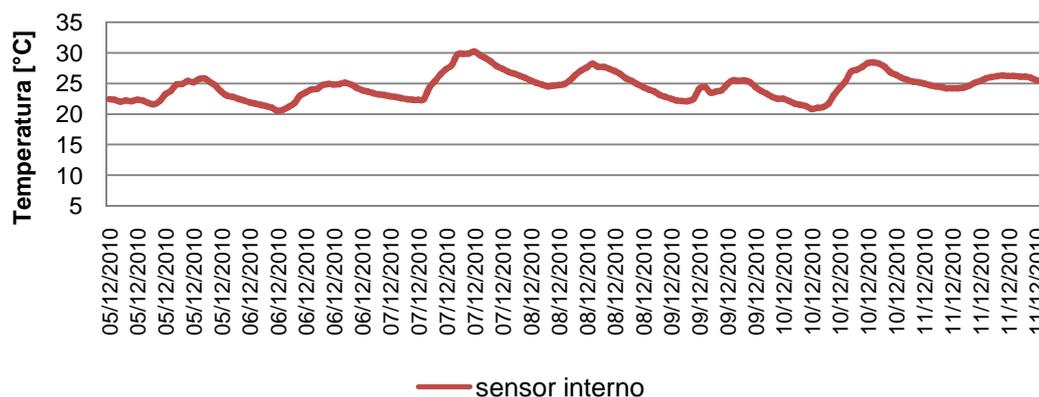


Figura 77: perfil das temperaturas durante a semana com a maior média das máximas diárias - primavera - Frei Pacifico

A temperatura média do ar para esta semana, internamente, foi de  $24,6^{\circ}\text{C}$ .

A semana (168 horas) apresentou desconforto ao calor ( $t > 29^{\circ}\text{C}$ ), internamente, em 6 horas (3,6%).

#### 4.4.1.2 Umidade relativa do ar

O valor mínimo de umidade relativa do ar, externamente, foi de 44,7%, registrado às 16h (15h36min, hora solar), do dia 3 de outubro (o valor interno, neste horário, foi de 52,1%). Internamente, o valor mínimo diário foi de 52%, às 17h.

O valor máximo de umidade relativa do ar, externamente, foi de 90,3%, registrado às 9h, do dia 8 de outubro (o valor interno, neste horário, foi de 87,2%). Internamente, o valor máximo diário foi de 87,9%, às 8h.

O segundo valor máximo de umidade relativa do ar, externamente, foi de 90%, registrado às 3h, do dia 24 de setembro e, internamente, no mesmo horário, o valor máximo diário foi de 88,1%.

No entanto, internamente, os registros mínimos e máximos de umidade relativa para a primavera foram outros. O menor valor foi de 32,9%, às 16h do dia 4 de novembro

(externamente, não foi possível obter o registro); e o maior valor foi de 89,9%, às 3h do dia 23 de setembro (externamente, para a medição das 3h o valor foi de 89,6%; valor máximo externo foi de 89,7%, às 7h).

A Figura 78 ilustra a ocorrência de umidade relativa em faixas que contemplam valores: abaixo de 40%, entre 40% e menores que 60%, de 60% a 80% e maiores que 80%.

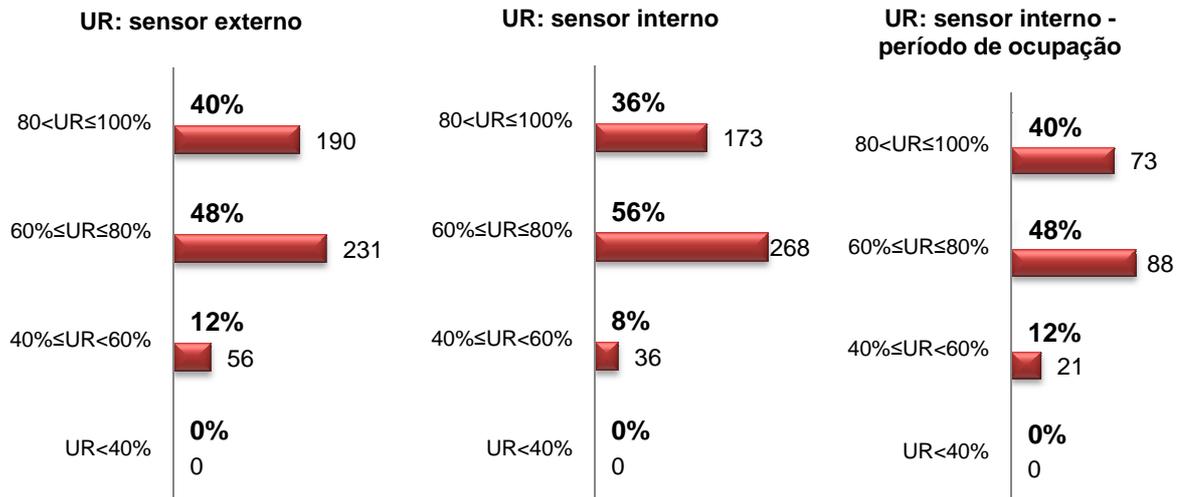


Figura 78: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação - primavera – Frei Pacífico

O desconforto (acima de 80% de umidade relativa) correspondeu, externamente, a 190 horas (40%) e, internamente, correspondeu a 173 horas (36%). O conforto (abaixo de 80% de umidade relativa) correspondeu, externamente, a 287 horas (60%) e, internamente, correspondeu a 304 horas (64%), das 477 horas analisadas.

Considerando somente o período de ocupação da Escola (182 horas), o desconforto correspondeu a 73 horas (40%) e o conforto correspondeu a 109 horas (60%).

Considerando o total de aquisições internas (2136 horas) e o correspondente período de ocupação (819 horas), os percentuais de umidade relativa se alteram (Figura 79).

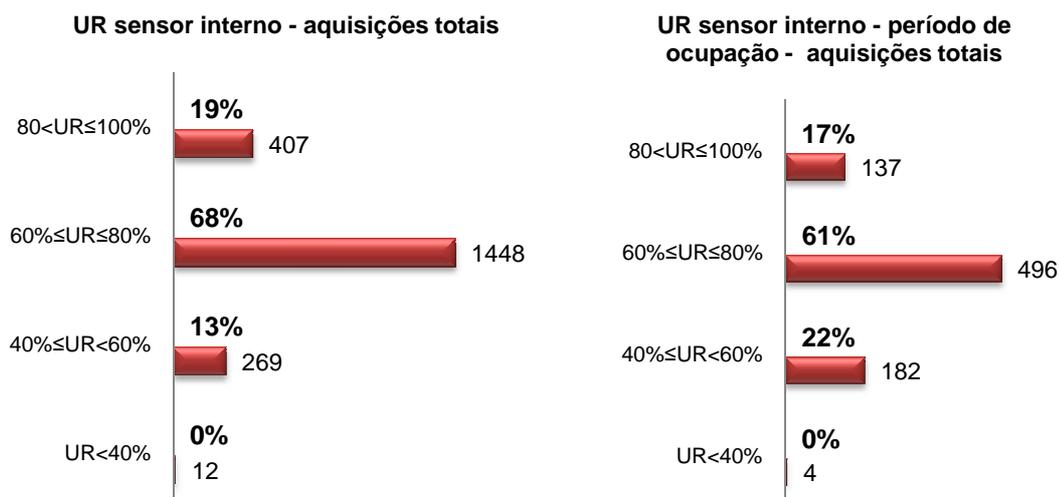


Figura 79: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores interno e interno em período de ocupação a partir das aquisições totais - primavera – Frei Pacífico

#### 4.4.1.3 Graus-hora

Para metodologia de graus-hora, a Tabela 30 apresenta os valores para as condições de aquecimento e refrigeração. A Tabela 31 apresenta os valores para as condições de aquecimento e refrigeração, a partir do total de aquisições internas (2.136 aquisições).

Tabela 30: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração – primavera – Frei Pacífico

Temp. base	Frei Pacífico - primavera								
	Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação		
	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio
14°C	23,6	17	1,39	0	0	-	0	0	-
15°C	48,0	31	1,55	2,6	5	0,52	0	0	-
16°C	100,0	72	1,39	14,5	20	0,72	0,8	2	0,4
17°C	203,4	131	1,55	51,7	60	0,86	4,8	8	0,6
18°C	386,4	226	1,70	161,0	163	1,00	17,8	20	0,89
25°C	3,0	4	0,75	0	0	-	0	0	-
26°C	0,4	1	0,4	0	0	-	0	0	-
27°C	0	0	-	0	0	-	0	0	-
28°C	0	0	-	0	0	-	0	0	-
29°C	0	0	-	0	0	-	0	0	-

Para a condição de aquecimento, à temperatura-base de 18°C, externamente, foram registradas 226 horas, somatório de 386,4 graus-hora e grau-médio de 1,7K. Internamente, foram registradas 163 horas, somatório de 161,0 graus-hora e grau-médio de 1,0K.

Para a condição de refrigeração, à temperatura-base de 29°C, externamente e internamente, não houve registro.

Tabela 31: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração a partir das aquisições totais – primavera – Frei Pacífico

Temp. base	Frei Pacífico - primavera								
	Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação		
	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio
14°C	Dados faltantes			0	0	-	0	0	-
15°C				2,6	5	0,52	0	0	-
16°C				18,0	28	0,64	2,1	5	0,42
17°C				79,5	103	0,77	13,8	19	0,72
18°C				264,5	268	0,98	45,7	46	0,99
25°C	Dados faltantes			316,9	191	1,66	221,8	101	2,19
26°C				168,0	109	1,54	134,9	74	1,82
27°C				82,0	59	1,39	71,0	48	1,48
28°C				37,2	31	1,20	34,4	25	1,37
29°C				15,4	15	1,02	15,4	15	1,02

Comparativamente, o grau-médio, para condição de aquecimento manteve-se similar à condição anterior (com dados reduzidos). A diferença ocorreu na condição de refrigeração, que apresentou dados mais expressivos, justificado pela inserção de dados com temperaturas elevadas, que ocorrem próximos ao verão.

Para ilustrar a distribuição da temperatura do ar, na primavera, é apresentado o histograma a seguir (Figura 80).

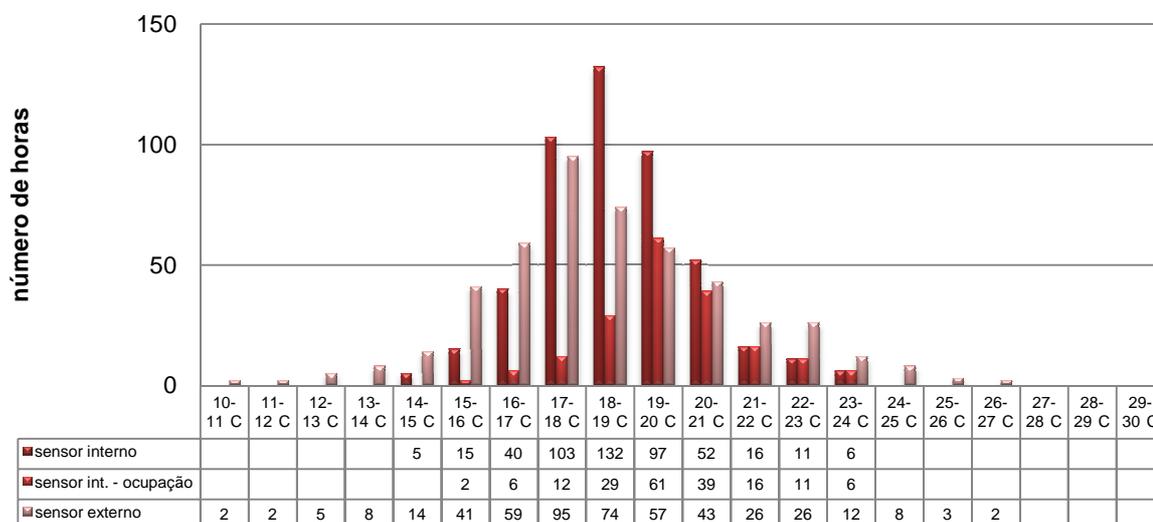


Figura 80: histograma das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação – primavera – Frei Pacífico

Externamente, o conforto correspondeu a 251 horas (52,6%), das 477 horas analisadas. O desconforto por calor foi nulo e o desconforto por frio correspondeu a 226 horas (47,4%).

No tocante às temperaturas mínimas, se utilizarmos como referência a temperatura-base de 16°C e, posteriormente, a de 14°C, o desconforto, externamente, é reduzido para 72 horas (15,1%) e, para 17 horas (3,5%), respectivamente.

Internamente, o conforto correspondeu a 314 horas (65,8%) das 477 horas analisadas. O desconforto por calor foi nulo e o desconforto por frio correspondeu a 163 horas (34,2%).

Quanto às temperaturas mínimas, se utilizarmos como referência a temperatura-base de 16°C, o desconforto, internamente, é reduzido para 20 horas (4,2%).

Considerando somente o período de ocupação da Escola, o conforto correspondeu a 162 horas (89%). O desconforto por calor foi nulo e o desconforto por frio, correspondeu a 20 horas (11%).

#### 4.4.1.4 Carta Bioclimática

A Figura 81 ilustra as cartas psicrométricas, para o sensor externo e interno (período total de medições e período de ocupação), na primavera.

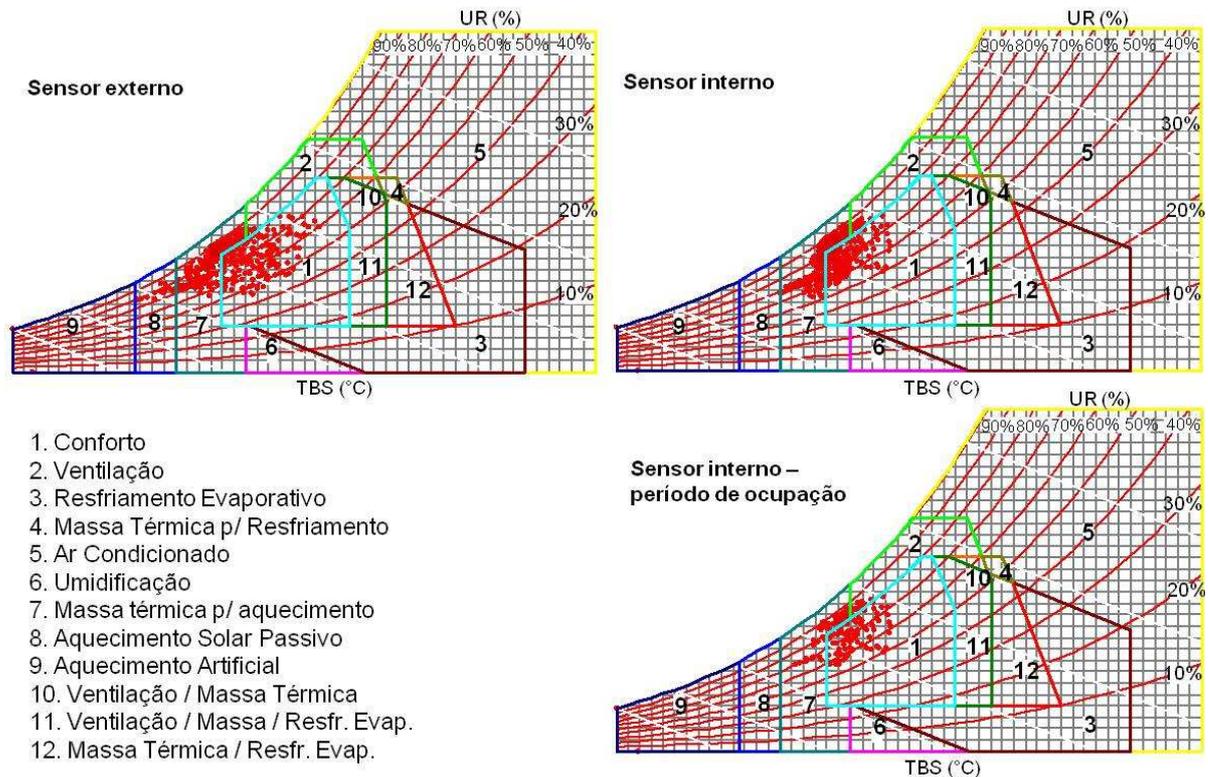


Figura 81: cartas psicrométricas dos sensores – primavera – Frei Pacifico

Em condição externa, o conforto higrotérmico correspondeu a 35,85% (171 horas) do período de monitoramento (477 horas analisadas). O desconforto foi de 64,15% (306 horas); em relação ao calor, foi de 2,93% (14 horas) e, em relação ao frio, foi de 61,22% (292 horas).

Em condição interna, o conforto higrotérmico correspondeu a 37,32% (178 horas) do período de monitoramento (477 horas analisadas). O desconforto foi de 62,68% (299 horas); em relação ao calor, foi de 6,08% (29 horas) e, em relação ao frio, foi de 56,6% (270 horas).

A estratégia recomendada, para o desconforto ao calor, internamente, é ventilação, com 6,08% (29 horas); e a estratégia recomendada, para o desconforto ao frio, é massa térmica com aquecimento solar, com 56,6% (270 horas).

Considerando somente o período de ocupação da Escola, o conforto higrotérmico correspondeu a 52,2% (95 horas) do período de monitoramento (182 horas). O desconforto foi de 47,8% (87 horas); em relação ao frio, foi de 35,16% (64 horas) e, em relação ao calor, foi de 12,64% (23 horas).

As estratégias recomendadas podem ser visualizadas abaixo, na Tabela 32.

Tabela 32: relatório dos sensores - primavera - Frei Pacífico

<b>Frei Pacífico - primavera</b>			
	<b>Sensor externo</b>	<b>Sensor interno</b>	<b>Sensor int. - ocupação</b>
<b>Conforto</b>	<b>35,85%</b>	<b>37,32%</b>	<b>52,2%</b>
<b>Desconforto</b>	<b>64,15%</b>	<b>62,68%</b>	<b>47,8%</b>
Calor	2,93%	6,08%	12,64%
Frio	61,22%	56,6%	35,16%
<b>Estratégias para condições internas</b>			
<b>Desconforto</b>	Ventilação		6,08%
	Resfriamento Evaporativo		-
	Massa Térmica p/ Resfriamento		-
	Ar condicionado		-
	Ventilação / Massa Térmica p/ Resfriamento		-
	Ventilação / Massa Resfr./ Resfr. Evaporativo		-
	Massa Térmica / Resfriamento Evaporativo		-
	Massa Térmica / Aquecimento Solar		56,6%
	Aquecimento Solar Passivo		-
	Aquecimento Artificial		-

#### 4.4.1.5 Considerações sobre o conforto térmico

Na Tabela 33 são apresentados os resultados resumidos, em percentuais, das horas de conforto na sala de aula da Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico, na primavera.

Tabela 33: resumo do conforto térmico na sala de aula (Frei Pacífico) – primavera - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação

<b>Frei Pacífico - primavera</b>		
	<b>Histograma (faixas de temperatura de conforto)</b>	<b>Carta psicrométrica de Givoni</b>
Período de medições	65,8%	37,3%
Período de ocupação	89,0%	52,2%

De acordo com a carta psicrométrica, o percentual de conforto térmico, na sala de aula, foi de 37,3% e, considerando o período de ocupação, o percentual de conforto foi de 52,2%.

## 4.5 ANÁLISE DO DESEMPENHOTÉRMICO ANUAL

### 4.5.1 Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico

Em razão de esta escola ter sido monitorada pelo período de um ano, faz-se a análise da edificação para o período compreendido entre 12 de janeiro de 2010 e 11 de janeiro de 2011. Foram monitoradas 8.686 horas e, validadas para análise do desempenho térmico 7.014 horas. O período de ocupação, então, correspondeu a 2.180 horas.

#### 4.5.1.1 Temperatura do ar

As temperaturas mínimas externas registradas foram de 5,8°C, no dia 13 de Julho, às 7 horas. Internamente, os sensores marcaram a temperatura mínima no dia 10 de agosto, no mesmo horário, registrando 9,2°C.

As temperaturas máximas externas registradas foram de 38,2°C, no dia 3 de fevereiro, às 18 horas. Internamente, os sensores marcaram a temperatura máxima no mesmo dia e mesmo horário, registrando 34,3°C.

Estabelecendo um comparativo com o trabalho de Gemelli (2009), que monitorou a escola Frei Pacífico por um período de 8 meses (maio a dezembro de 2008), os resultados obtidos se assemelham e são ilustrados na Tabela abaixo (Tabela 34). Os dados fornecidos na pesquisa de Gemelli (2009) referem-se a sala de aula E, contígua à sala de aula utilizada nesta pesquisa (D).

Tabela 34: valores mínimos, médios e máximos de temperatura, para condições internas e externas, monitoramento 2010 e monitoramento 2008, com dados baseados em Gemelli (2009) – Frei Pacífico

		T (°C)												
		Monitoramento 2010												
		jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago	set	out.*	nov.	dez.	anual
Int.	Mín.	22,5	20,9	20,3	15,6	14,3	10,3	9,7	9,2	13,3	14,1	15,4	23,4	9,2
	Média	26,4	27,9	25,3	22,2	19,1	16,5	15,7	15,5	18,0	18,4	21,5	26,0	21,0
	Max.	31,0	34,3	30,2	29,1	25,1	29,1	26,7	28,6	22,8	23,2	31,4	30,5	34,3
Ext.	Mín.	18,9	16,1	15,5	11,5	12,5	7,1	5,8	6,2	10,5	10,7	-	20,1	5,8
	Média	25,7	27,3	24,5	21,4	18,6	15,8	15,1	14,9	17,9	18,2	-	25,0	20,2
	Max.	33,6	38,2	31,8	32,6	26,4	26,9	30,6	31,3	26,1	26,4	-	34,8	38,2
		Monitoramento 2008												
Int.	Mín.					11,5	13,6	12,1	9,7	11,2	15,3	18,3	19,1	
	Média					20,1	16,0	17,1	16,3	17,0	20,8	23,5	24,0	
	Max.					28,4	20,0	24,3	24,1	24,3	29,0	29,3	29,5	
Ext.	Mín.					7,2	12,9	9,1	5,5	9,5	13,0	13,7	15,4	
	Média					19,6	16,0	17,3	16,8	17,4	20,5	23,0	23,1	
	Max.					32,5	20,3	30,7	31,0	33,6	32,4	32,1	33,3	

\*valores comparativos (monitoramento 2010) - considerando todo o mês de outubro os valores internos foram:  $t_{\min}$  14,1°C,  $t_{\text{média}}$  19,4°C,  $t_{\max}$  24,6°C; e considerando todo o mês de dezembro os valores internos foram:  $t_{\min}$  17,1°C,  $t_{\text{média}}$  24,5°C,  $t_{\max}$  30,5°C.

#### 4.5.1.2 Umidade relativa do ar

Considerando os registros de umidade relativa e a zona de conforto, quando apresentado valores menores que 80% de umidade relativa (tendo em vista que valores abaixo de 40% são raros de ocorrer) é ilustrada a ocorrência dos diversos percentuais na Figura 82.

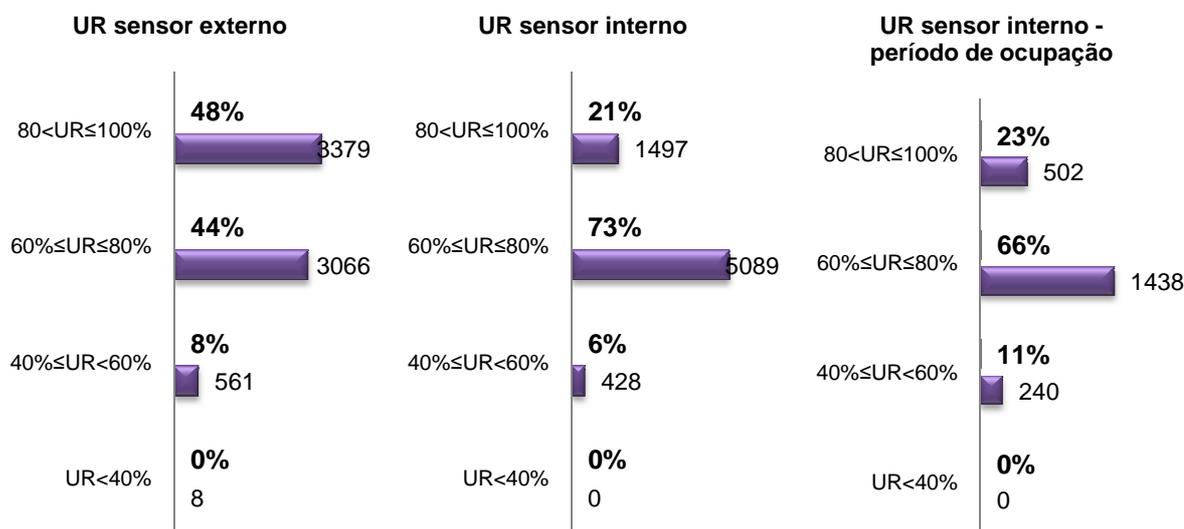


Figura 82: distribuição de frequências de umidade relativa nos sensores interno e interno em período de ocupação - anual – Frei Pacífico

A edificação esteve submetida a altos percentuais de umidade relativa (UR > 80%) em 48% do tempo de monitoramento (3379 horas). Internamente, a umidade relativa foi reduzida para 21% do tempo (1497 horas), em termos de desconforto. Considerando apenas o

período de ocupação (7h-19h, dias úteis), o percentual de desconforto ficou em 23% do tempo de monitoramento. Em suma, a condição externa esteve propiciando conforto em 52% do tempo; a edificação esteve em conforto em 79% do tempo e, considerando somente o período de ocupação, a edificação esteve em conforto 77% do tempo.

Os percentuais de desconforto em razão da umidade relativa, na pesquisa de Gemelli (2009), não tiveram grandes variações entre os valores externos e internos registrados: externamente, 52% de umidade relativa e, internamente, 51% de umidade relativa (UR>80%). Segundo Gemelli (2009) existem fatores de influência que propiciam o aumento da umidade internamente, como a intervenção dos usuários e sua própria geração de umidade, através da transpiração.

#### 4.5.1.3 Graus-hora

A análise da Tabela graus-hora refere-se ao número de horas e somatório de graus-hora acima ou abaixo da temperatura de conforto adotada, para a condição externa, interna e interna em período de ocupação (Tabela 35).

Tabela 35: somatório de graus-hora para aquecimento e refrigeração – anual – Frei Pacífico

Temp. base	Frei Pacífico - primavera								
	Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação		
	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio	Graus-Hora	Nº de horas	Grau-médio
14°C	2.299,8	944	2,44	877,7	561	1,56	223,9	153	1,46
15°C	3.392,0	1.219	2,78	1.571,3	815	1,93	423,9	238	1,78
16°C	4.845,6	1.626	2,98	2.618,3	1.249	2,10	733,4	376	1,95
17°C	6.732,5	2.101	3,20	4.109,6	1.707	2,40	1.192,5	523	2,28
18°C	9.129,7	2.631	3,47	6.211	2.373	2,61	1.822,3	716	2,54
25°C	4.627,8	1.449	3,19	4.565,3	1.867	2,44	659,7	349	1,89
26°C	3.325,2	1.136	2,93	2.914,9	1.370	2,13	357,5	248	1,44
27°C	2.315,9	841	2,75	1.737,9	947	1,83	150	151	0,99
28°C	1.576,1	630	2,50	976,2	574	1,70	49,3	55	0,90
29°C	1.040,9	439	2,37	510,1	339	1,50	11,2	17	0,66

Os registros anuais da Escola Frei Pacífico indicaram uma tendência maior ao frio, ou seja, tendo que fazer frente a baixas temperaturas. Considerando, para a condição de aquecimento, externamente, a Tb de 18°C, o número de horas em que deveria haver aquecimento é de 2.631 horas e somatório de 9.129,7 graus-hora. Internamente, o número de horas necessárias para aquecimento também é elevado, no entanto, o somatório graus-hora bastante inferior, indicando que os registros foram mais próximos da temperatura-base. Tendo em vista o grau-médio, que fornece o índice a partir da relação entre somatório graus-hora e número de horas, os valores foram de 3,47K externamente, 2,61K internamente, e 2,54K internamente em período de ocupação. O grau-médio fornecido pela

pesquisa de Gemelli (2009), para  $T_b$  de  $18^\circ\text{C}$ , foi de 2,8 K externamente, 2,3K internamente e, 2,0K internamente em período de ocupação.

Outros valores podem ser observados na tabela acima, bem como valores obtidos para a condição de refrigeração.

Para ilustrar a distribuição da temperatura do ar, durante o monitoramento anual, é apresentada a Figura 83 (histograma das temperaturas).

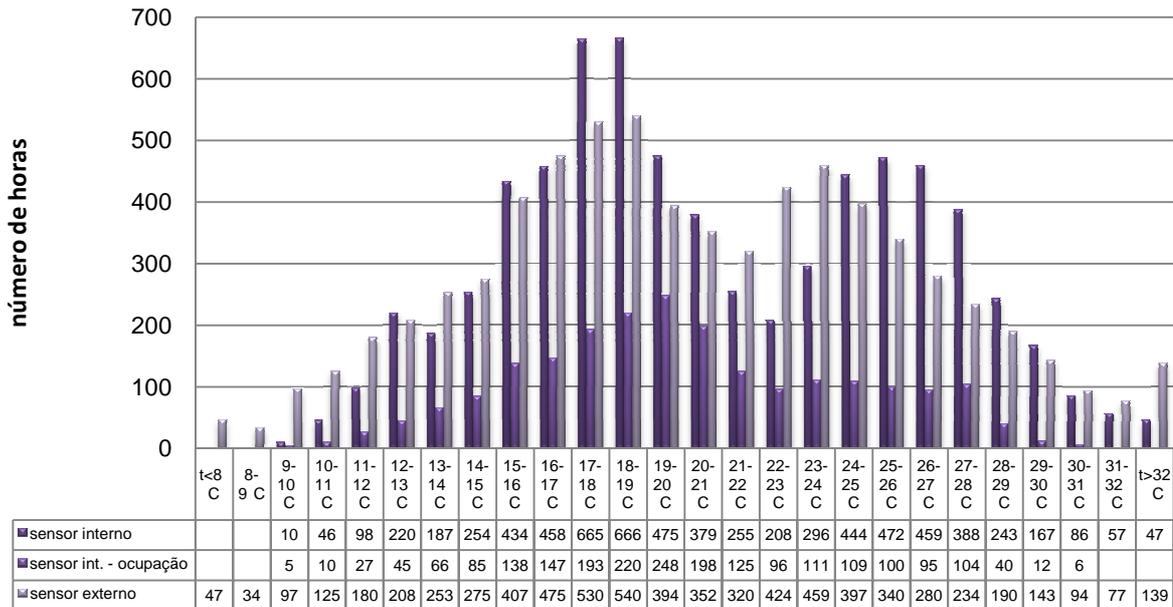


Figura 83: histograma de freqüência das temperaturas nos sensores externo, interno e interno em período de ocupação – anual – Frei Pacifico

As temperaturas variaram, em condição externa, entre  $5^\circ\text{C}$  e  $38^\circ\text{C}$ ; em condição interna, entre  $9^\circ\text{C}$  e  $34^\circ\text{C}$ ; e em condição de ocupação de  $9^\circ\text{C}$  a  $30^\circ\text{C}$ . Os maiores valores de freqüência, para os registros externos, ficaram entre  $16^\circ\text{C}$  a  $19^\circ\text{C}$  e entre  $24^\circ\text{C}$  a  $27^\circ\text{C}$ ; internamente, entre  $16^\circ\text{C}$  a  $19^\circ\text{C}$  e entre  $22^\circ\text{C}$  a  $25^\circ\text{C}$ ; e, por fim, em ocupação, entre  $16^\circ\text{C}$  e  $21^\circ\text{C}$ . A comparação entre valores permite identificar a redução de temperaturas determinada pelo envoltório da construção.

A condição de conforto ( $18\text{-}29^\circ\text{C}$ ), externamente, ocorreu em 3.930 horas (56%) do total das 7.014 horas monitoradas. O desconforto por calor correspondeu a 453 horas (6,5%) e o desconforto por frio correspondeu a 2.631 horas (37,5%).

O conforto, internamente, ocorreu em 4.285 horas (61,1%) do total de 7.014 horas monitoradas. O desconforto por calor correspondeu a 357 horas (5,1%) e o desconforto por frio correspondeu a 2.372 horas (33,8%).

Em período de ocupação, o conforto ocorreu em 1.446 horas (66,4%) do total de 2.180 horas monitoradas. O desconforto por calor correspondeu a 18 horas (0,8%) e o desconforto por frio correspondeu a 716 horas (32,8%).

#### 4.5.1.4 Carta Bioclimática

A partir dos dados de temperatura e umidade relativa e através do *Software Analysis Bio* foi gerada a carta psicrométrica para o período anual, na Escola Frei Pacífico (Figura 84).

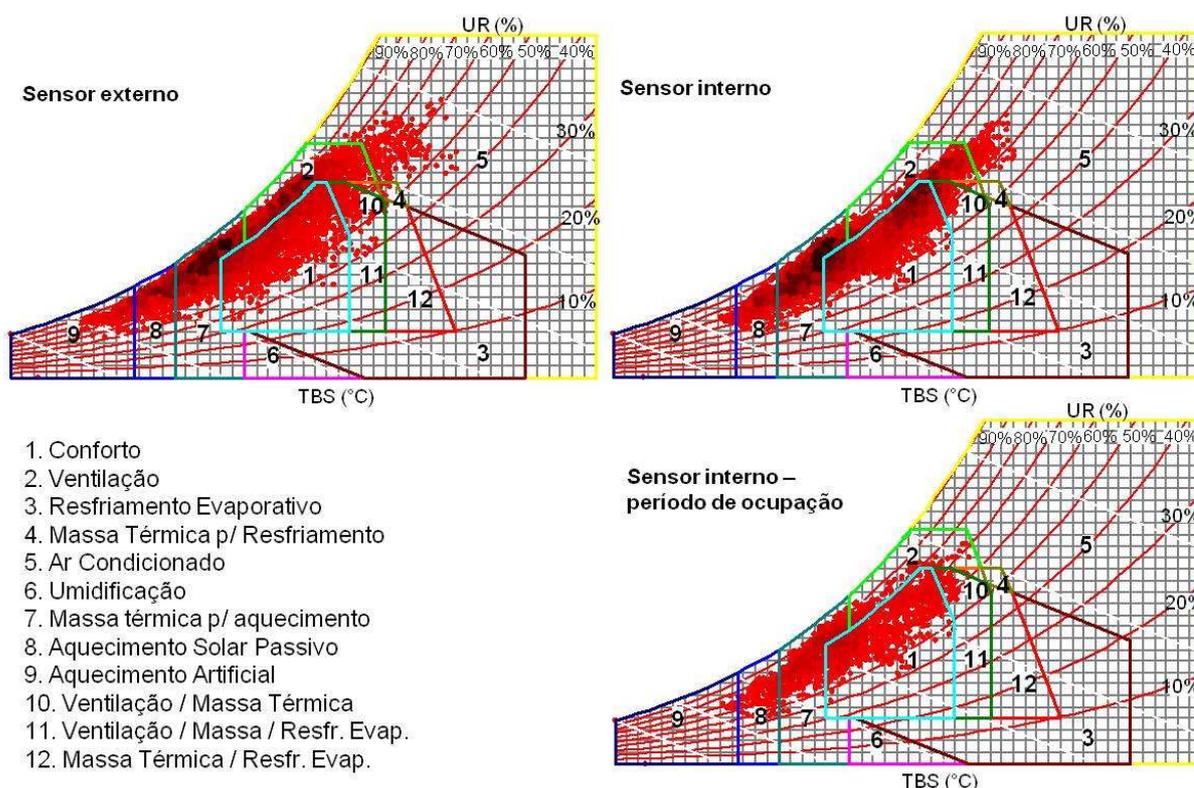


Figura 84: carta psicrométrica dos sensores – anual – Frei Pacífico

A condição ambiental externa identifica uma situação de conforto higrotérmico ocorrente em 26,93% (1.889 horas) do total de horas integrando o período de monitoramento (7.014 horas analisadas). O desconforto foi de 73,07% (5.125 horas); em relação ao calor, foi de 28,17% (1.976 horas) e, em relação ao frio, foi de 44,9% (3.149 horas).

Os registros caracterizando a condição ambiental interna identificam uma situação de conforto higrotérmico ocorrendo em 42,3% (2.968 horas) do período de monitoramento (7.014 horas analisadas). O desconforto ocorreu em 57,7% (4.046 horas) do período; em relação ao calor, foi de 17% (1.191 horas) e, em relação ao frio, foi de 40,7% (2.855 horas).

As estratégias recomendadas, para o desconforto ao calor, internamente, são:

- a) Ventilação, com 12% (842 horas);

- b) Ar condicionado, com 1,91% (134 horas);
- c) E estratégias combinadas – ventilação e massa térmica para resfriamento, com 0,214% (15 horas); e ventilação, massa térmica para resfriamento e resfriamento evaporativo, com 2,85% (200 horas).

E as estratégias recomendadas, para o desconforto ao frio, internamente, são:

- a) Massa térmica para aquecimento, com 32,7% (2.294 horas);
- b) Aquecimento solar passivo, com 7,66% (537 horas);
- c) Aquecimento artificial, com 0,34% (24 horas).

Considerando somente o período de ocupação da Escola, o conforto higrotérmico correspondeu a 48,53% (1.058 horas) do período de monitoramento (2.180 horas). O desconforto foi de 51,47% (1.122 horas); em relação ao calor, foi de 10,55% (230 horas) e, em relação ao frio, foi de 40,92% (892 horas).

As estratégias recomendadas podem ser visualizadas abaixo, na Tabela 36.

Tabela 36: relatório dos sensores – anual – Frei Pacífico

<b>Frei Pacífico - anual</b>			
	<b>Sensor externo</b>	<b>Sensor interno</b>	<b>Sensor int. - ocupação</b>
<b>Conforto</b>	<b>26,93%</b>	<b>42,3%</b>	<b>48,53%</b>
<b>Desconforto</b>	<b>73,07%</b>	<b>57,7%</b>	<b>51,47%</b>
Calor	28,17%	17,0%	10,55%
Frio	44,9%	40,7%	40,92%
<b>Estratégias para condições internas</b>			
<b>Desconforto</b>	Ventilação		12,0%
	Resfriamento Evaporativo		-
	Massa Térmica p/ Resfriamento		-
	Ar condicionado	1,91%	
	Ventilação / Massa Térmica p/ Resfriamento	0,214%	
	Ventilação / Massa Resfr./ Resfr. Evaporativo	2,85%	
	Massa Térmica / Resfriamento Evaporativo	-	
	Massa Térmica / Aquecimento Solar	32,7%	33,9%
	Aquecimento Solar Passivo	7,66%	6,65%
	Aquecimento Artificial	0,34%	0,37%

Estabelecendo uma comparação com os dados disponibilizados na pesquisa de Gemelli (2009), verifica-se que esta, mesmo monitorando por um período mais curto, apresentou dados semelhantes: também identificou uma percentagem de 25% a 30% dos dados coletados externamente em condição de conforto. O desconforto por frio, da mesma forma, apresentou os maiores índices, com cerca de 50% dos dados coletados. Internamente, a percentagem de conforto foi de, aproximadamente, 40% dos dados coletados, com a condição de desconforto ao frio representando em torno de 50%.

#### 4.5.1.5 Considerações sobre o conforto térmico

Na Tabela 37 são apresentados os resultados resumidos, em percentuais, das horas de conforto na sala de aula da Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico, para o período anual.

Tabela 37: resumo do conforto térmico na sala de aula (Frei Pacífico) – anual - percentual de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação

<b>Frei Pacífico - anual</b>		
	<b>Histograma (faixas de temperatura de conforto)</b>	<b>Carta psicrométrica de Givoni</b>
Período de medições	61,1%	42,3%
Período de ocupação	66,4%	48,5%

De acordo com a carta psicrométrica, o percentual de conforto térmico, na sala de aula, foi de 42,3% e, considerando o período de ocupação, o percentual de conforto foi de 48,5%.

Assim, o monitoramento, pelo período de um ano, indicou que a sala de aula esteve em conforto térmico em menos de 50% do tempo, quando as variáveis (temperatura e umidade relativa) são analisadas conjuntamente.

#### 4.6 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO EM PERÍODO COM E SEM OCUPAÇÃO PELOS USUÁRIOS

O objetivo, neste item, é analisar e apontar as distinções no desempenho térmico da edificação, com e sem ocupação pelos usuários. Não foi realizado este estudo para o CPVAC, pelo fato de ter contado com uma utilização limitada (problemas do telhado); assim, será objeto desta análise somente a Escola Frei Pacífico.

A Escola Frei Pacífico, durante a semana, permaneceu em plenas condições de uso dos seus espaços internos e, aos finais de semana, não era utilizada. Ainda, os horários de utilização podem ser considerados como se estendendo das 7 horas às 19 horas, incluindo tanto a duração das aulas, como os períodos necessários para sua manutenção e limpeza.

Sabe-se que as principais diferenças entre o uso e a ausência deste estão associadas ao incremento da ventilação (pela possibilidade de acionamento das aberturas) e, ao ganho de calor, resultante da presença dos ocupantes (alunos). Na ausência de ventilação, quando a edificação é monitorada com as portas e janelas fechadas, as trocas de ar ocorrem, somente, pela infiltração natural através das frestas das esquadrias.

Segundo Morello (2005) antes de qualquer conclusão prévia, o mais apropriado seria realizar um estudo com a edificação em uso, quantificando os ganhos reais de temperatura e a ação da ventilação cruzada, na extração do calor interno.

O total de dados monitorados foi analisado e distribuído em três grupamentos: dias com temperaturas uniformes (16 a 19 de setembro); dias com temperaturas elevadas (4 a 7 de março) e dias com temperaturas baixas (1º a 4 de julho). Para cada grupamento, foram identificados dois dias consecutivos em que houve utilização das dependências da escola (com ocupação pelos usuários) e dois dias em que não houve utilização, correspondentes aos finais de semana (sem ocupação pelos usuários).

As Figuras 85, 87 e 89 ilustram, com dados de temperatura e umidade relativa, o perfil contínuo e ininterrupto das medições, comparando os dados do sensor interno com os do sensor externo, para os dias com e sem utilização da sala de aula, em temperaturas uniformes, temperaturas elevadas e temperaturas baixas. As Figuras 86, 88 e 90 ilustram, para temperatura e umidade relativa, somente os períodos de ocupação (7h-19h), comparando os dados registrados pelo sensor interno com os do sensor externo, em temperaturas uniformes, temperaturas elevadas e temperaturas baixas.

#### *Temperaturas uniformes*

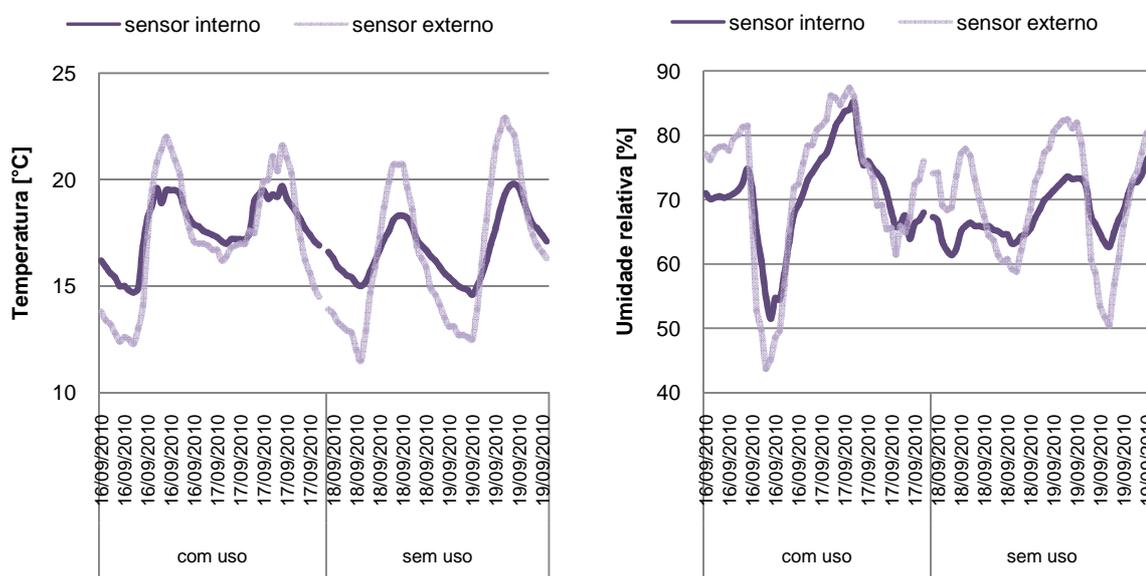


Figura 85: comportamento da temperatura e umidade relativa em período contínuo, com e sem utilização da sala de aula – temperaturas uniformes.

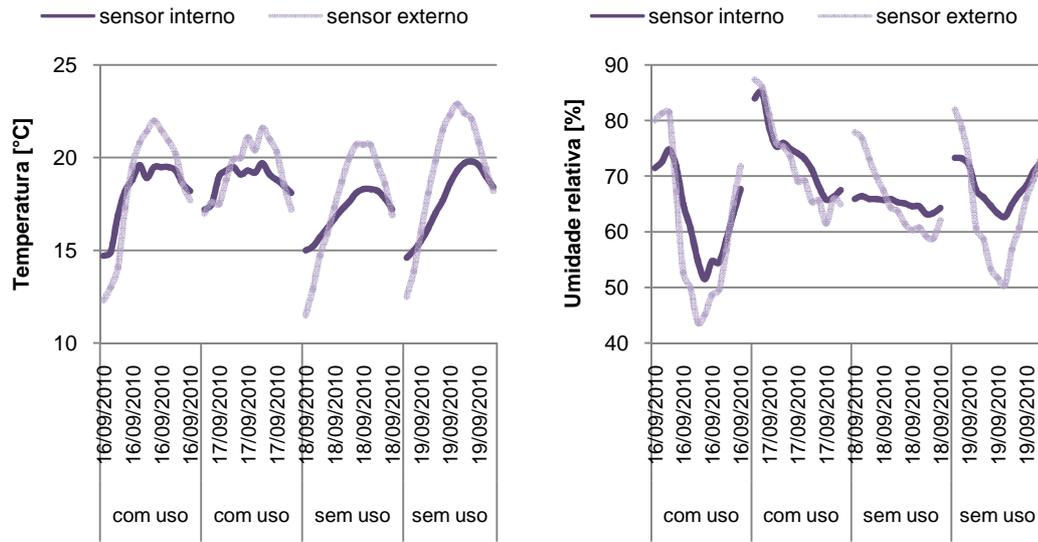


Figura 86: comportamento da temperatura e umidade relativa em período de ocupação, com e sem utilização da sala de aula – temperaturas uniformes.

*Temperaturas elevadas*

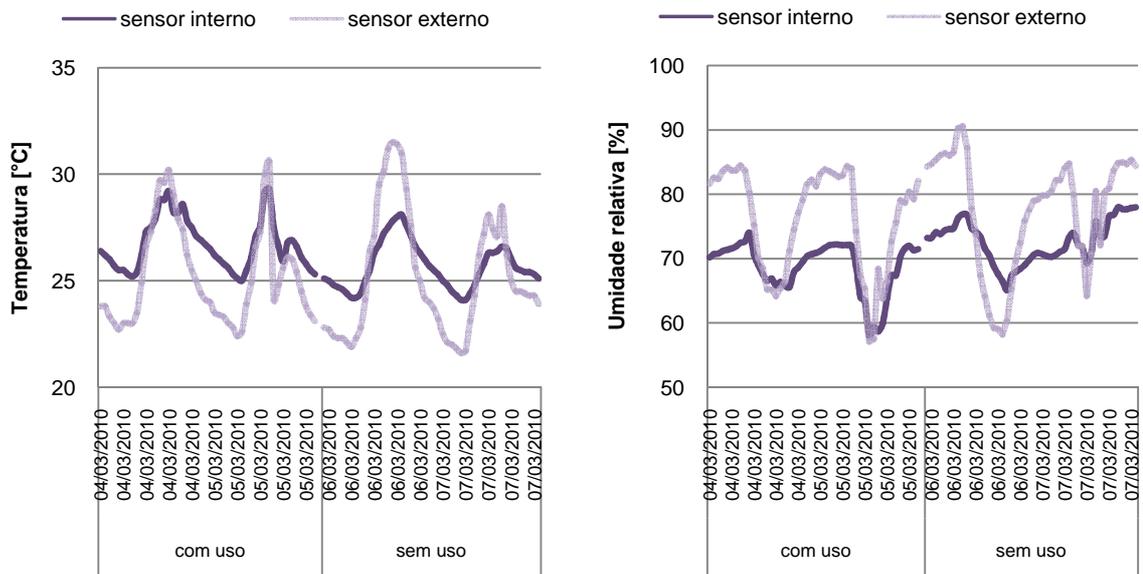


Figura 87: comportamento da temperatura e umidade relativa em período contínuo, com e sem utilização da sala de aula – temperaturas elevadas.

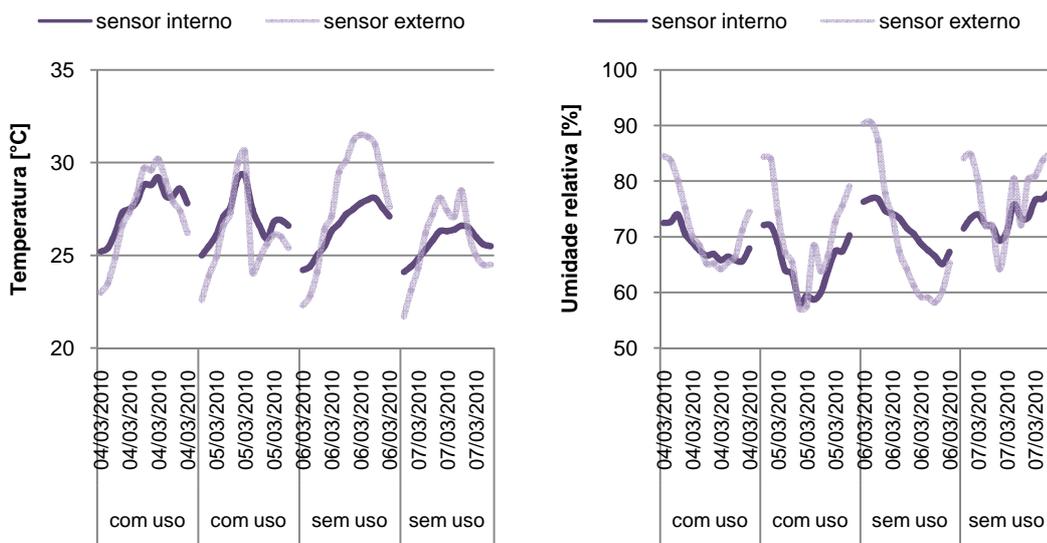


Figura 88: comportamento da temperatura e umidade relativa em período de ocupação, com e sem utilização da sala de aula - temperaturas elevadas.

*Temperaturas baixas*

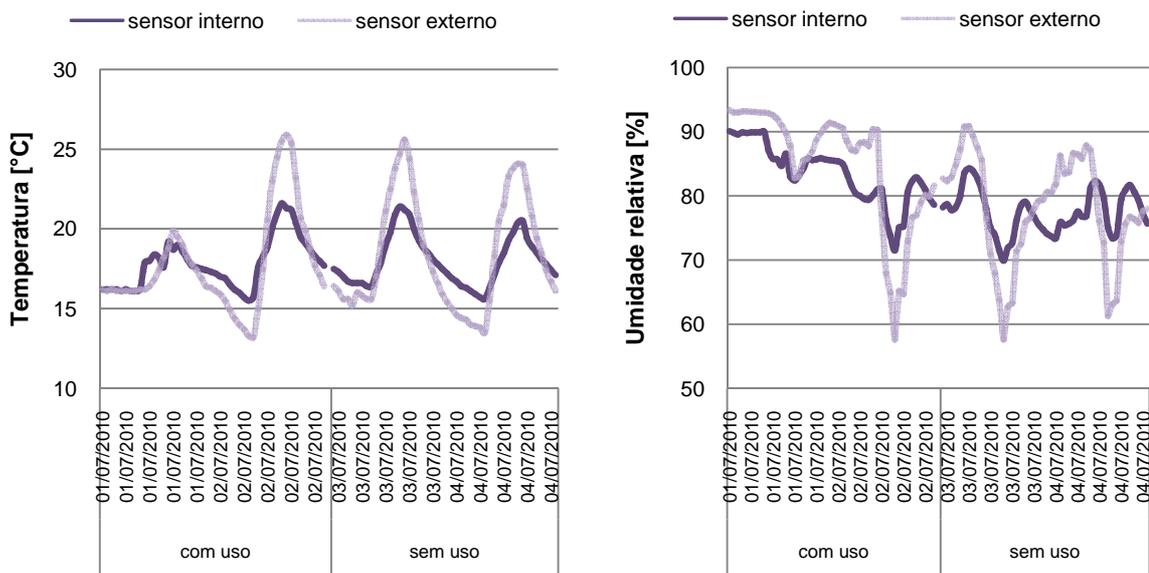


Figura 89: comportamento da temperatura e umidade relativa em período contínuo, com e sem utilização da sala de aula – temperaturas baixas.

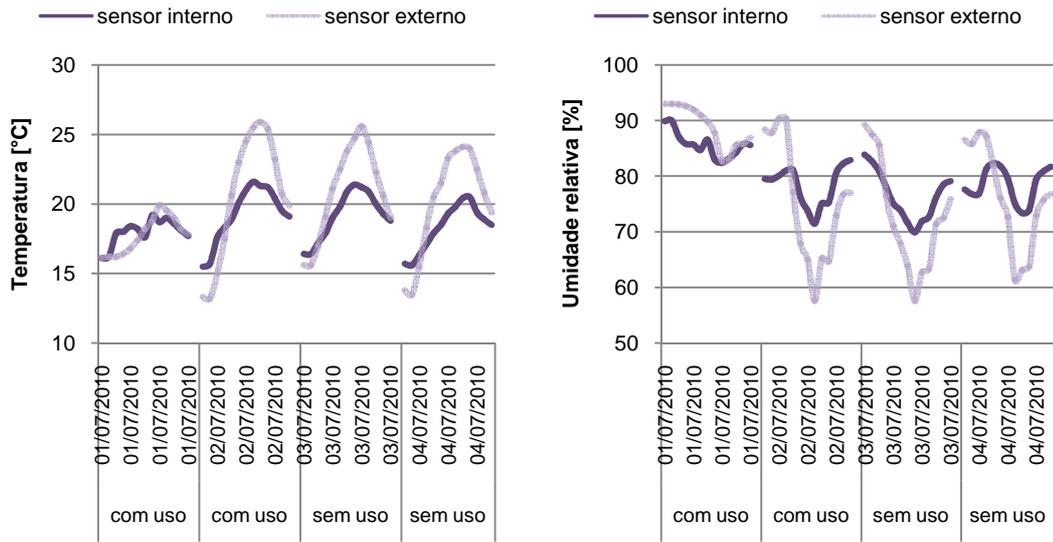
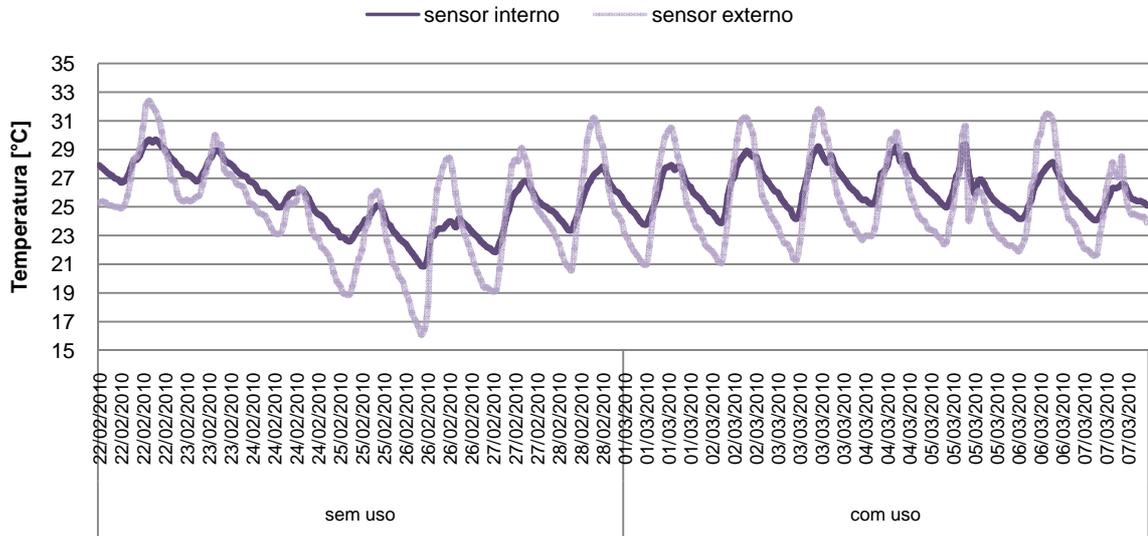


Figura 90: comportamento da temperatura e umidade relativa em período de ocupação, com e sem utilização da sala de aula - temperaturas baixas.

Os dados avaliados não possibilitaram resultados conclusivos. Então, optou-se por avaliar um período mais abrangente (Figura 91): o período da última semana de férias de verão (22 a 28 de fevereiro) e o período seguinte (1<sup>a</sup> a 7 de março).



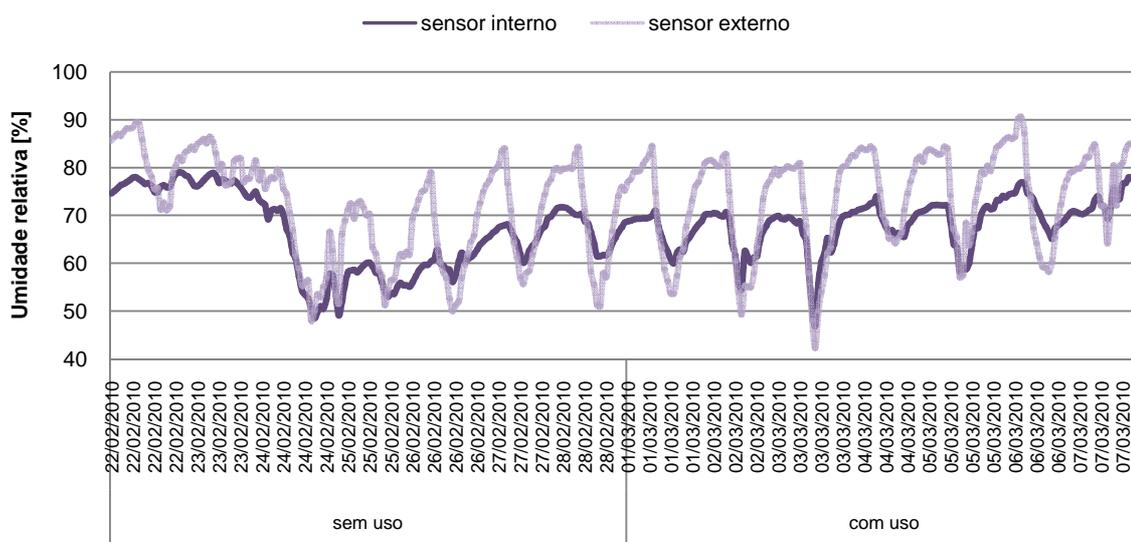


Figura 91: comportamento da temperatura e umidade relativa em período contínuo, com e sem utilização da sala de aula – por semana (22 de fevereiro a 7 de março)

Novamente, não houve uma diferença significativa entre os dados coletados, que emergisse de uma simples observação. Sugere-se um estudo mais aprofundado, com uma avaliação estatística das variáveis e por um período mais extenso. É importante que a coleta de dados seja feita quando as temperaturas estão mais uniformes, sem a ação de uma onda de calor ou frio, para uma melhor análise de eventuais diferenças.

#### 4.7. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O desempenho térmico comparativo dos estudos de caso foi realizado para o período do verão, outono e inverno. O desempenho térmico comparativo é estruturado: nas Tabelas 38 e 39, que fornecem os valores mínimos, médios e máximos de temperatura e umidade relativa, por estações do ano, para condições internas e externas, para ambas as escolas (CPVAC e Frei Pacífico); nas Tabelas 40 e 41, que fornecem os valores mínimos, médios e máximos de temperatura e umidade relativa, mensais, para condições internas e externas, nas duas escolas; e nas análises desempenho térmico descritas nos itens anteriores (por estações do ano) e resumidas nas tabelas comparativas (Tabelas 43, 44 e 45); ainda, na Tabela 46, que apresenta os percentuais resumidos de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação.

Tabela 38: valores mínimos, médios e máximos de temperatura e umidade relativa, por estações do ano, para condições internas e externas – CPVAC

CPVAC								
T (°C)								
	verão		outono		inverno		primavera	
	interno	externo	interno	externo	interno	externo	interno	externo
Mínima	19,6	14,4	12,2	7,5	8,6	3,2	-	-
Média	27,0	25,7	20,3	18,7	15,6	14,4	-	-
Máxima	35,8	40,9	31,8	36,8	26,7	31,4	-	-
U.R. (%)								
Mínima	44,9	30,7	39,3	24,1	44,8	35,5	-	-
Média	69,6	74,4	74,6	81,7	72,9	79,1	-	-
Máxima	79,6	92,0	88,1	95,1	92,5	95,0	-	-

Tabela 39: valores mínimos, médios e máximos de temperatura e umidade relativa, por estações do ano, para condições internas e externas – Frei Pacífico

Frei Pacífico								
T (°C)								
	verão		outono		inverno		primavera*	
	interno	externo	interno	externo	interno	externo	interno	externo
Mínima	20,3	15,5	13,3	10,0	9,2	5,8	14,1	10,7
Média	26,8	26,1	20,4	19,7	16,1	15,7	18,6	18,4
Máxima	34,3	38,2	29,1	32,6	28,6	31,3	23,5	26,4
U.R. (%)								
Mínima	40,0	34,9	47,8	44,5	41,4	35,9	50,0	44,7
Média	69,5	74,2	73,2	78,3	75,8	78,8	74,4	74,5
Máxima	84,3	91,2	89,1	93,7	93,6	94,9	89,9	90,3

\*valores comparativos - considerando todas as aquisições internas, para a primavera:  $t_{\min}$  14,1°C,  $t_{\text{média}}$  21,1°C,  $t_{\max}$  31,4°C, UR<sub>min</sub> 32,9%, UR<sub>média</sub> 71,0% e UR<sub>máx</sub> 89,9%.

Tabela 40: valores mínimos, médios e máximos de temperatura e umidade relativa, mensais, para condições internas e externas – CPVAC

CPVAC														
T (°C)														
		jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	anual
Int.	Mín.	22,0	20,4	19,6	16,2	15,4	10,6	8,6	8,8	-	-	-	-	8,6
	Média	26,6	28,1	25,8	22,3	18,8	16,3	16,3	13,7	-	-	-	-	21,2
	Max.	32,1	35,8	32,3	31,8	25,7	23,2	26,7	19,9	-	-	-	-	35,8
Ext.	Mín.	17,2	15,0	14,4	11,1	10,5	5,8	3,2	4,0	-	-	-	-	3,2
	Média	25,3	26,8	24,5	20,5	17,1	15,1	15,2	11,9	-	-	-	-	19,8
	Max.	35,7	40,9	38,5	36,8	28,9	28,7	31,4	24,3	-	-	-	-	40,9
U.R. (%)														
Int.	Mín.	57,1	50,1	44,9	39,3	60,4	58,1	44,8	48,3	-	-	-	-	39,3
	Média	71,4	69,2	70,4	70,9	77,2	76,7	73,0	69,9	-	-	-	-	72,5
	Max.	79,6	79,4	80,6	85,2	86,6	88,1	92,5	86,6	-	-	-	-	92,5
Ext.	Mín.	43,0	33,9	30,7	24,1	39,4	46,9	35,5	41,7	-	-	-	-	24,1
	Média	76,4	73,9	75,9	78,2	84,8	82,8	78,7	78,1	-	-	-	-	78,7
	Max.	89,9	92,0	91,1	94,1	94,1	95,1	95,0	91,7	-	-	-	-	95,1

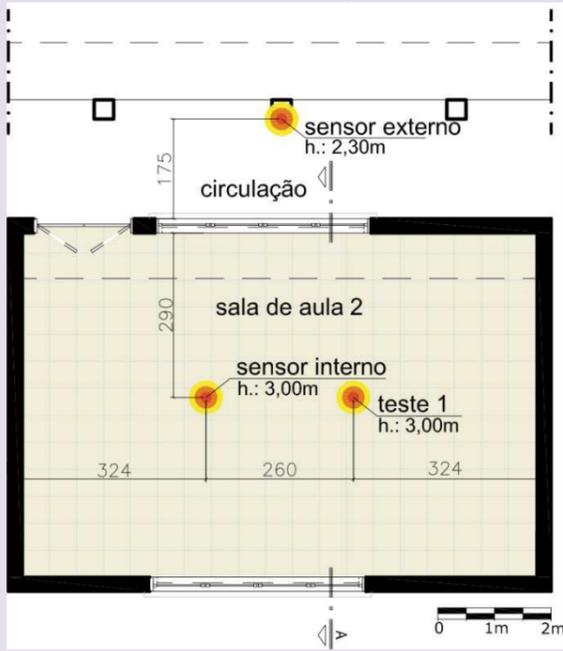
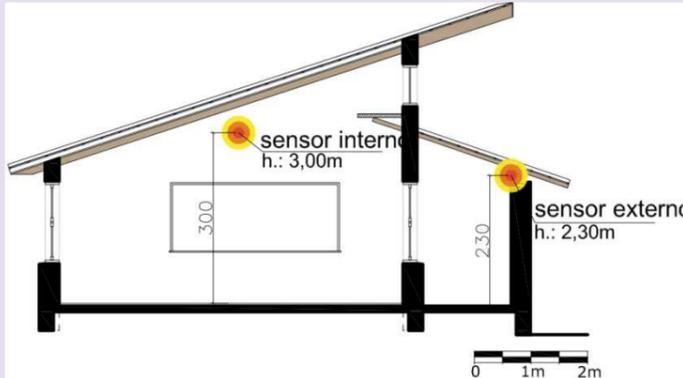
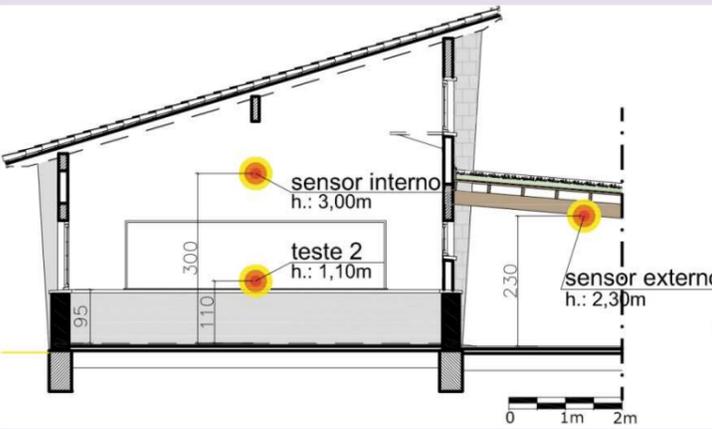
Tabela 41: valores mínimos, médios e máximos de temperatura e umidade relativa, mensais, para condições internas e externas – Frei Pacífico

Frei Pacífico														
T (°C)														
		jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago	set	out.*	nov.	dez*.	anual
Int.	Mín.	22,5	20,9	20,3	15,6	14,3	10,3	9,7	9,2	13,3	14,1	15,4	23,4	9,2
	Média	26,4	27,9	25,3	22,2	19,1	16,5	15,7	15,5	18,0	18,4	21,5	26,0	21,0
	Max.	31,0	34,3	30,2	29,1	25,1	29,1	26,7	28,6	22,8	23,2	31,4	30,5	34,3
Ext.	Mín.	18,9	16,1	15,5	11,5	12,5	7,1	5,8	6,2	10,5	10,7	-	20,1	5,8
	Média	25,7	27,3	24,5	21,4	18,6	15,8	15,1	14,9	17,9	18,2	-	25,0	20,2
	Max.	33,6	38,2	31,8	32,6	26,4	26,9	30,6	31,3	26,1	26,4	-	34,8	38,2
U.R. (%)														
Int.	Mín.	49,2	48,5	40,0	47,8	57,9	53,8	43,3	41,4	51,5	52,0	32,9	56,8	32,9
	Média	70,1	69,2	71,8	68,8	76,3	75,0	73,8	75,7	78,6	70,6	69,4	70,6	72,6
	Max.	81,1	79,0	85,6	86,1	89,1	91,3	90,7	92,6	93,6	88,9	89,7	80,3	93,6
Ext.	Mín.	44,4	42,7	34,9	45,8	44,5	45,1	35,9	36,4	43,7	44,7	-	52,0	34,9
	Média	74,7	73,4	77,1	73,9	81,2	79,7	78,3	78,7	78,8	70,9	-	75,1	77,1
	Max.	91,2	89,4	92,1	93,0	92,6	94,9	93,8	91,9	92,5	90,3	-	91,3	94,9

\*valores comparativos - considerando todo mês de outubro os valores internos foram:  $t_{\min}$  14,1°C,  $t_{\text{média}}$  19,4°C,  $t_{\max}$  24,6°C,  $UR_{\min}$  37,2%,  $UR_{\text{média}}$  70,3% e  $UR_{\max}$  88,9%; e considerando todo o mês de dezembro os valores internos foram:  $t_{\min}$  17,1°C,  $t_{\text{média}}$  24,5°C,  $t_{\max}$  30,5°C,  $UR_{\min}$  47%,  $UR_{\text{média}}$  71,0% e  $UR_{\max}$  87,9%.

Serão apontadas a seguir, as diferenciações no desempenho térmico das salas de aula estudadas, estruturadas por estação do ano (verão, outono e inverno). Inicialmente, será apresentada uma breve tabela comparativa (Tabela 42) com as características dos casos estudados e indicando a posição dos sensores que monitoraram a edificação, para facilitar a análise comparativa.

Tabela 42: quadro de resumo comparativo – dados gerais

	Cpvac (Feliz/RS)	Frei Pacífico (Itapuã/RS)
<b>Equipamentos, nº e localização</b>	Data loggers: 1 equipamento externo – h.: 2,30m 1 equipamento interno/teste - h.: 3,00m	Data loggers: 1 equipamento externo – h.: 2,30m 1 equipamento interno/teste - h.: 3,00m 1 equipamento teste – h.: 1,10m
<b>Descrição do ambiente</b>	<p>Sala de aula 55,11m<sup>2</sup></p>  	<p>Sala de aula 50,49m<sup>2</sup></p>  
<b>Área útil ventilação</b>	1,28m <sup>2</sup> esquadria sul 1,28m <sup>2</sup> esquadria norte 1,67m <sup>2</sup> esquadria norte (alta)	4,54m <sup>2</sup> esquadria sul 1,89m <sup>2</sup> esquadria norte 3,40m <sup>2</sup> esquadria norte (alta)
<b>Transmitância térmica [W/m<sup>2</sup>.K], capacidade térmica [kJ/m<sup>2</sup>.K] e atraso térmico [h]</b>	<b>Parede externa:</b> 1,84 W/m <sup>2</sup> .K - 362 kJ/m <sup>2</sup> .K - 7,1horas <b>Parede interna:</b> 1,78 W/m <sup>2</sup> .K - 401 kJ/m <sup>2</sup> .K - 7,8horas <b>Piso:</b> 3,55 W/m <sup>2</sup> .K - 290 kJ/m <sup>2</sup> .K - 4,1horas <b>Cobertura:</b> 0,5 W/m <sup>2</sup> .K - 45 kJ/m <sup>2</sup> .K - 4,7horas	<b>Parede externa (mista):</b> 3,68 W/m <sup>2</sup> .K - 652 kJ/m <sup>2</sup> .K - 5,1horas <b>Parede externa (mista):</b> 2,01 W/m <sup>2</sup> .K - 174 kJ/m <sup>2</sup> .K - 4,7horas <b>Parede interna:</b> 2,46 W/m <sup>2</sup> .K - 165 kJ/m <sup>2</sup> .K - 3,8horas <b>Piso:</b> 4,66 W/m <sup>2</sup> .K - 235 kJ/m <sup>2</sup> .K - 2,7horas <b>Cobertura:</b> 0,77 W/m <sup>2</sup> .K - 41 kJ/m <sup>2</sup> .K - 3,4horas

É importante observar que a sala de aula no CPVAC possui uma área maior do que a da Frei Pacífico. No entanto, sua área de ventilação e, conseqüentemente, o volume de ar renovado é menor, em função do tipo de angulação das esquadrias. As propriedades térmicas dos fechamentos indicaram um isolamento maior nos fechamentos no CPVAC.

Abaixo, as análises comparativas resumidas, por estação do ano.

*Análise comparativa do desempenho térmico – verão*

A Tabela 43 ilustra o resumo do desempenho térmico comparativo para o verão.

Tabela 43: quadro de resumo comparativo – verão

	Cpvac (Feliz/RS)	Frei Pacífico (Itapuã/RS)																																																																																																																																																																																																																																																																																						
<b>T</b>	<b>Temperatura de conforto: 20°C – 29°C</b>	<b>Temperatura de conforto: 20°C – 29°C</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	<b>Horas de monitoramento: 1.608 horas [67 dias] / 195 horas [período de ocupação]</b>	<b>Horas de monitoramento: 1.608 horas [67 dias] / 195 horas [período de ocupação]</b>																																																																																																																																																																																																																																																																																						
<b>Temperatura [°C]</b>	<p>Tmin<sub>ext</sub>:14,4°C, T<sub>min</sub><sub>int</sub>:19,6°C, amortecimento: 5,6K, φ: 3 horas                      Tmax<sub>ext</sub>:40,9°C, T<sub>int</sub>:34,2°C, amortecimento: 5,2K, φ: 1 hora, Tmax<sub>int</sub>: 35,8°C</p>	<p>Tmin<sub>ext</sub>:15,5°C, T<sub>min</sub><sub>int</sub>:20,3°C [int], amortecimento: 4,8K, φ: -                      Tmax<sub>ext</sub>:38,2°C, Tmax<sub>int</sub>:34,3°C [int], amortecimento: 3,9K, φ: -</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																						
<b>UR [%]</b>	URmin <sub>ext</sub> : 30,7%, URmin <sub>int</sub> :44,9% URmax <sub>ext</sub> : 92%, URmax <sub>int</sub> :79,6% - <b>Conforto:</b> 51%, 814 horas [ext]; 100%,1.608 horas [int]; 100%, 195 horas [ocupação]	URmin <sub>ext</sub> : 34,9%, URmin <sub>int</sub> :40% URmax <sub>ext</sub> : 91,2%, URmax <sub>int</sub> :84,3% - <b>Conforto:</b> 63%, 1.017 horas [ext]; 99%,1.585 horas [int]; 94%,184 horas [ocupação]																																																																																																																																																																																																																																																																																						
<b>Graus-hora</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Temp. base</th> <th colspan="9">CPVAC - verão</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Sensor externo</th> <th colspan="3">Sensor interno</th> <th colspan="3">Sensor interno - ocupação</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Graus-Hora</th> <th>N° de horas</th> <th>Grau-médio</th> <th>Graus-Hora</th> <th>N° de horas</th> <th>Grau-médio</th> <th>Graus-Hora</th> <th>N° de horas</th> <th>Grau-médio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>14°C</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>15°C</td> <td>1,8</td> <td>4</td> <td>0,4</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>16°C</td> <td>13,4</td> <td>18</td> <td>0,7</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>17°C</td> <td>36,1</td> <td>26</td> <td>1,4</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>18°C</td> <td>73,8</td> <td>48</td> <td>1,5</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>20°C</td> <td>235,8</td> <td>125</td> <td>1,9</td> <td>0,7</td> <td>3</td> <td>0,2</td> <td>0,7</td> <td>3</td> <td>0,23</td> </tr> <tr> <td>25°C</td> <td>3.645,7</td> <td>762</td> <td>4,8</td> <td>3.805,4</td> <td>1.213</td> <td>3,1</td> <td>433,6</td> <td>129</td> <td>3,36</td> </tr> <tr> <td>26°C</td> <td>2.944,0</td> <td>628</td> <td>4,7</td> <td>2.700,3</td> <td>977</td> <td>2,8</td> <td>311,4</td> <td>113</td> <td>2,75</td> </tr> <tr> <td>27°C</td> <td>2.368,8</td> <td>525</td> <td>4,5</td> <td>1.820,5</td> <td>761</td> <td>2,4</td> <td>205,6</td> <td>96</td> <td>2,14</td> </tr> <tr> <td>28°C</td> <td>1.883,3</td> <td>440</td> <td>4,3</td> <td>1.165,1</td> <td>538</td> <td>2,2</td> <td>123,5</td> <td>66</td> <td>1,87</td> </tr> <tr> <td>29°C</td> <td>1.477,8</td> <td>375</td> <td>3,9</td> <td>710,4</td> <td>358</td> <td>2,0</td> <td>65,6</td> <td>47</td> <td>1,39</td> </tr> </tbody> </table>	Temp. base	CPVAC - verão									Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação				Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	14°C	0	0	-	0	0	-	0	0	-	15°C	1,8	4	0,4	0	0	-	0	0	-	16°C	13,4	18	0,7	0	0	-	0	0	-	17°C	36,1	26	1,4	0	0	-	0	0	-	18°C	73,8	48	1,5	0	0	-	0	0	-	20°C	235,8	125	1,9	0,7	3	0,2	0,7	3	0,23	25°C	3.645,7	762	4,8	3.805,4	1.213	3,1	433,6	129	3,36	26°C	2.944,0	628	4,7	2.700,3	977	2,8	311,4	113	2,75	27°C	2.368,8	525	4,5	1.820,5	761	2,4	205,6	96	2,14	28°C	1.883,3	440	4,3	1.165,1	538	2,2	123,5	66	1,87	29°C	1.477,8	375	3,9	710,4	358	2,0	65,6	47	1,39	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Temp. base</th> <th colspan="9">Frei Pacífico - verão</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Sensor externo</th> <th colspan="3">Sensor interno</th> <th colspan="3">Sensor interno - ocupação</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Graus-Hora</th> <th>N° de horas</th> <th>Grau-médio</th> <th>Graus-Hora</th> <th>N° de horas</th> <th>Grau-médio</th> <th>Graus-Hora</th> <th>N° de horas</th> <th>Grau-médio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>14°C</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>15°C</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>16°C</td> <td>1,2</td> <td>3</td> <td>0,4</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>17°C</td> <td>7,3</td> <td>8</td> <td>0,9</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>18°C</td> <td>18,1</td> <td>15</td> <td>1,2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>20°C</td> <td>74,5</td> <td>46</td> <td>1,6</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>25°C</td> <td>3.184,9</td> <td>924</td> <td>3,4</td> <td>3.377,4</td> <td>1235</td> <td>2,7</td> <td>310,7</td> <td>147</td> <td>2,1</td> </tr> <tr> <td>26°C</td> <td>2.339,1</td> <td>748</td> <td>3,1</td> <td>2.266,3</td> <td>942</td> <td>2,4</td> <td>179,9</td> <td>107</td> <td>1,7</td> </tr> <tr> <td>27°C</td> <td>1.670,6</td> <td>564</td> <td>3,0</td> <td>1.440</td> <td>696</td> <td>2,1</td> <td>85,3</td> <td>77</td> <td>1,1</td> </tr> <tr> <td>28°C</td> <td>1.168,6</td> <td>430</td> <td>2,7</td> <td>857,5</td> <td>467</td> <td>1,8</td> <td>29,1</td> <td>35</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>29°C</td> <td>800,4</td> <td>308</td> <td>2,6</td> <td>467,3</td> <td>292</td> <td>1,6</td> <td>4,5</td> <td>10</td> <td>0,4</td> </tr> </tbody> </table>	Temp. base	Frei Pacífico - verão									Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação				Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	14°C	0	0	-	0	0	-	0	0	-	15°C	0	0	-	0	0	-	0	0	-	16°C	1,2	3	0,4	0	0	-	0	0	-	17°C	7,3	8	0,9	0	0	-	0	0	-	18°C	18,1	15	1,2	0	0	-	0	0	-	20°C	74,5	46	1,6	0	0	-	0	0	-	25°C	3.184,9	924	3,4	3.377,4	1235	2,7	310,7	147	2,1	26°C	2.339,1	748	3,1	2.266,3	942	2,4	179,9	107	1,7	27°C	1.670,6	564	3,0	1.440	696	2,1	85,3	77	1,1	28°C	1.168,6	430	2,7	857,5	467	1,8	29,1	35	0,8	29°C	800,4	308	2,6	467,3	292	1,6	4,5	10	0,4
Temp. base	CPVAC - verão																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio																																																																																																																																																																																																																																																																															
14°C	0	0	-	0	0	-	0	0	-																																																																																																																																																																																																																																																																															
15°C	1,8	4	0,4	0	0	-	0	0	-																																																																																																																																																																																																																																																																															
16°C	13,4	18	0,7	0	0	-	0	0	-																																																																																																																																																																																																																																																																															
17°C	36,1	26	1,4	0	0	-	0	0	-																																																																																																																																																																																																																																																																															
18°C	73,8	48	1,5	0	0	-	0	0	-																																																																																																																																																																																																																																																																															
20°C	235,8	125	1,9	0,7	3	0,2	0,7	3	0,23																																																																																																																																																																																																																																																																															
25°C	3.645,7	762	4,8	3.805,4	1.213	3,1	433,6	129	3,36																																																																																																																																																																																																																																																																															
26°C	2.944,0	628	4,7	2.700,3	977	2,8	311,4	113	2,75																																																																																																																																																																																																																																																																															
27°C	2.368,8	525	4,5	1.820,5	761	2,4	205,6	96	2,14																																																																																																																																																																																																																																																																															
28°C	1.883,3	440	4,3	1.165,1	538	2,2	123,5	66	1,87																																																																																																																																																																																																																																																																															
29°C	1.477,8	375	3,9	710,4	358	2,0	65,6	47	1,39																																																																																																																																																																																																																																																																															
Temp. base	Frei Pacífico - verão																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio																																																																																																																																																																																																																																																																															
14°C	0	0	-	0	0	-	0	0	-																																																																																																																																																																																																																																																																															
15°C	0	0	-	0	0	-	0	0	-																																																																																																																																																																																																																																																																															
16°C	1,2	3	0,4	0	0	-	0	0	-																																																																																																																																																																																																																																																																															
17°C	7,3	8	0,9	0	0	-	0	0	-																																																																																																																																																																																																																																																																															
18°C	18,1	15	1,2	0	0	-	0	0	-																																																																																																																																																																																																																																																																															
20°C	74,5	46	1,6	0	0	-	0	0	-																																																																																																																																																																																																																																																																															
25°C	3.184,9	924	3,4	3.377,4	1235	2,7	310,7	147	2,1																																																																																																																																																																																																																																																																															
26°C	2.339,1	748	3,1	2.266,3	942	2,4	179,9	107	1,7																																																																																																																																																																																																																																																																															
27°C	1.670,6	564	3,0	1.440	696	2,1	85,3	77	1,1																																																																																																																																																																																																																																																																															
28°C	1.168,6	430	2,7	857,5	467	1,8	29,1	35	0,8																																																																																																																																																																																																																																																																															
29°C	800,4	308	2,6	467,3	292	1,6	4,5	10	0,4																																																																																																																																																																																																																																																																															
<b>Carta bioclimática</b>	<p>1. Conforto                      2. Ventilação                      3. Resfriamento Evaporativo                      4. Massa Térmica p/ Resfriamento                      5. Ar Condicionado                      6. Umidificação                      7. Massa térmica p/ aquecimento                      8. Aquecimento Solar Passivo                      9. Aquecimento Artificial                      10. Ventilação / Massa Térmica                      11. Ventilação / Massa / Resfr. Evap.                      12. Massa Térmica / Resfr. Evap.</p> <p>- <b>Conforto:</b> 19,65%, 316 horas [ext]; 54,85%, 882 horas [int]; 60%, 117 horas [ocupação]</p>	<p>1. Conforto                      2. Ventilação                      3. Resfriamento Evaporativo                      4. Massa Térmica p/ Resfriamento                      5. Ar Condicionado                      6. Umidificação                      7. Massa térmica p/ aquecimento                      8. Aquecimento Solar Passivo                      9. Aquecimento Artificial                      10. Ventilação / Massa Térmica                      11. Ventilação / Massa / Resfr. Evap.                      12. Massa Térmica / Resfr. Evap.</p> <p>- <b>Conforto:</b> 31,6%, 508 horas [ext]; 57,9%, 931 horas [int]; 66,7%, 130 horas [ocupação]</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																						

Análise comparativa do desempenho térmico - VERÃO

Foram consideradas como temperatura de conforto, no período de verão, aquelas compreendidas de 20°C a 29°C (segundo recomendação de Gi voni, e incorporadas nas cartas bioclimáticas elaboradas pelo LABEE, da UFSC). Foram monitoradas 1608 horas (aquisições totais) e 195 horas em período de ocupação.

As temperaturas no CPVAC apresentaram maior amplitude: para uma variação de temperaturas externas de 14,4°C a 40,9°C, internamente e, a variação foi de 19,6°C a 35,8°C. Na Frei Pacífico, enquanto externamente as temperaturas variaram de 15,5°C a 38,2°C, internamente a variação foi de 20,3°C a 34,3°C. Ou seja, para uma amplitude de variação de temperaturas externas de 26,5K, no CPVAC, a amplitude de variação de temperaturas internas foi de 16,2K, representando um abrandamento relativo de 38,9% (16,2/26,5). No caso da Escola Frei Pacífico, o abrandamento foi de 38,3% (14,0/22,7). Vê-se, pois, que em se tomando este parâmetro de comparação, é muito sutil a diferença em termos de desempenho térmico entre as duas salas de aula. Observe-se que um alto valor de abrandamento relativo está associado a um pior desempenho térmico da edificação, que, nessa condição, não mostra potencial adequado de reduzir a amplitude de variação das temperaturas externas.

A inércia térmica dos fechamentos indicou um amortecimento térmico superior a 5,0K e atraso térmico acima de 1 hora, no CPVAC; amortecimento inferior a 5,0K e atraso térmico nulo (as temperaturas mínimas ou máximas foram sentidas no interior da edificação no mesmo instante em que registradas externamente), na Frei Pacífico.

Os índices de umidade relativa registrados no CPVAC indicaram que a edificação esteve submetida a um ambiente externo mais desfavorável. Os fechamentos da edificação, em decorrência da elevação de temperaturas internas, em períodos de maior frio e períodos noturnos, e mesmo pela absorção de umidade pelas superfícies internas dos fechamentos, acabaram determinando uma atenuação nos valores de umidade relativa, relativamente àqueles ocorrentes no exterior. Não foram registrados índices de umidade relativa acima de 80% no interior da sala de aula monitorada. As variações de umidade relativa, externamente, foram de 30,7% a 92% e, internamente, de 44,9% a 76,9%. A Escola Frei Pacífico, mesmo apresentando condições climáticas externas mais favoráveis, com valores superiores de UR um pouco inferiores à da Escola de Feliz, não conseguiu abrandar com a mesma eficiência os índices de umidade relativa acima de 80%. A variação de umidade, externamente, foi de 34,9% a 91,2% e, internamente, de 40% a 84,3%. De certo modo, isto poderia ser atribuído à menor permeabilidade de parte da parede, em pedra granítica, que não possui revestimento.

Observando o graus-hora, para a temperatura base de 29°C (limite superior de conforto adotado), externamente o CPVAC apresentou um somatório de temperaturas superior ao verificado na Frei Pacífico (1.477,8 para o CPVAC e 800,4 para a Frei Pacífico). Em decorrência, o nº de horas com necessidade de refrigeração também foi superior no CPVAC, 375 horas, em comparação com as 308 horas na Frei Pacífico. O grau-médio sofreu redução de 3,9K (externo) para 2,0K (interno), no CPVAC e redução de 2,6K para 1,6K, na Frei Pacífico.

Os percentuais de conforto higrotérmico fornecidos pelo programa *Analysis Bio*, para condição externa foram, de 19,65%, no CPVAC e de 31,6%, na Frei Pacífico. Para a condição interna, foram de 54,85% e 57,9%, respectivamente. O CPVAC, embora tenha apresentado internamente, percentual de conforto inferior a Frei Pacífico, suas condições de temperatura e umidade relativa, externamente, foram mais críticas e, ainda assim, a envoltória conseguiu atenuar estes extremos, possibilitando alcançar percentuais de conforto próximos aos da Escola Frei Pacífico.

*Análise comparativa do desempenho térmico – outono:*

A Tabela 44 ilustra o resumo do desempenho térmico comparativo para o outono.

Tabela 44: quadro de resumo comparativo – outono

		Cpvac (Feliz/RS)	Frei Pacífico (Itapuã/RS)																																																																																																																																																																																																																																																																
T		<b>Temperatura de conforto: 18°C – 29°C</b>	<b>Temperatura de conforto: 18°C – 29°C</b>																																																																																																																																																																																																																																																																
		<b>Horas de monitoramento: 2.160 horas [90 dias] / 810 horas [período de ocupação]</b>	<b>Horas de monitoramento: 2.160 horas [90 dias] / 810 horas [período de ocupação]</b>																																																																																																																																																																																																																																																																
Temperatura [°C]		<p>Tmin<sub>ext</sub>: 7,5°C, Tmin<sub>int</sub>: 12,2°C, amortecimento: 4,7K, φ: 1 hora                      Tmax<sub>ext</sub>: 36,8°C, Tmax<sub>int</sub>: 31,8°C, amortecimento: 5K, φ: 1 hora</p>	<p>Tmin<sub>ext</sub>: 10°C, Tmin<sub>int</sub>: 13,3°C, amortecimento: 3,3K, φ: 4 horas                      Tmax<sub>ext</sub>: 32,6°C, T<sub>int</sub>: 28,2°C, amortecimento: 4,4K, φ: -, Tmax<sub>int</sub>: 29,1°C</p>																																																																																																																																																																																																																																																																
	UR [%]	<p>URmin<sub>ext</sub>: 24,1%, URmin<sub>int</sub>: 39,3%                      URmax<sub>ext</sub>: 95,1%, URmax<sub>int</sub>: 88,1%                      - <b>Conforto: 30%, 657 horas [ext]; 80%, 1.722 horas [int]; 79%, 643 horas [ocupação]</b></p>	<p>URmin<sub>ext</sub>: 44,5%, URmin<sub>int</sub>: 47,8% [int]                      URmax<sub>ext</sub>: 93,7% URmax<sub>int</sub>: 89,1% [int]                      - <b>Conforto: 49%, 1.053 horas [ext]; 79%, 1.712 horas [int]; 83%, 669 horas [ocupação]</b></p>																																																																																																																																																																																																																																																																
Graus-hora		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Temp. base</th> <th colspan="9">CPVAC - outono</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Sensor externo</th> <th colspan="3">Sensor interno</th> <th colspan="3">Sensor interno - ocupação</th> </tr> <tr> <th>Graus-Hora</th> <th>N° de horas</th> <th>Grau-médio</th> <th>Graus-Hora</th> <th>N° de horas</th> <th>Grau-médio</th> <th>Graus-Hora</th> <th>N° de horas</th> <th>Grau-médio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>14°C</td> <td>697</td> <td>331</td> <td>2,10</td> <td>45,6</td> <td>60</td> <td>0,76</td> <td>14,2</td> <td>20</td> <td>0,71</td> </tr> <tr> <td>15°C</td> <td>1.123,1</td> <td>492</td> <td>2,28</td> <td>25,4</td> <td>130</td> <td>0,19</td> <td>44,5</td> <td>39</td> <td>1,14</td> </tr> <tr> <td>16°C</td> <td>1.741,6</td> <td>695</td> <td>2,50</td> <td>324,5</td> <td>221</td> <td>1,47</td> <td>95,9</td> <td>66</td> <td>1,45</td> </tr> <tr> <td>17°C</td> <td>2.535,1</td> <td>875</td> <td>2,90</td> <td>641,2</td> <td>419</td> <td>1,53</td> <td>196,5</td> <td>140</td> <td>1,40</td> </tr> <tr> <td>18°C</td> <td>3.537,2</td> <td>1089</td> <td>3,25</td> <td>1.197,7</td> <td>696</td> <td>1,72</td> <td>387,7</td> <td>239</td> <td>1,62</td> </tr> <tr> <td>25°C</td> <td>824,6</td> <td>221</td> <td>3,73</td> <td>575,4</td> <td>312</td> <td>1,84</td> <td>256,5</td> <td>122</td> <td>2,10</td> </tr> <tr> <td>26°C</td> <td>624,8</td> <td>177</td> <td>3,53</td> <td>317,9</td> <td>198</td> <td>1,60</td> <td>153,0</td> <td>86</td> <td>1,78</td> </tr> <tr> <td>27°C</td> <td>464,7</td> <td>138</td> <td>3,37</td> <td>164,7</td> <td>98</td> <td>1,68</td> <td>82,6</td> <td>49</td> <td>1,68</td> </tr> <tr> <td>28°C</td> <td>339,7</td> <td>106</td> <td>3,20</td> <td>87,6</td> <td>61</td> <td>1,44</td> <td>43,1</td> <td>31</td> <td>1,39</td> </tr> <tr> <td>29°C</td> <td>244,8</td> <td>79</td> <td>3,10</td> <td>42,1</td> <td>31</td> <td>1,36</td> <td>21,5</td> <td>15</td> <td>1,43</td> </tr> </tbody> </table>	Temp. base	CPVAC - outono									Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação			Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	14°C	697	331	2,10	45,6	60	0,76	14,2	20	0,71	15°C	1.123,1	492	2,28	25,4	130	0,19	44,5	39	1,14	16°C	1.741,6	695	2,50	324,5	221	1,47	95,9	66	1,45	17°C	2.535,1	875	2,90	641,2	419	1,53	196,5	140	1,40	18°C	3.537,2	1089	3,25	1.197,7	696	1,72	387,7	239	1,62	25°C	824,6	221	3,73	575,4	312	1,84	256,5	122	2,10	26°C	624,8	177	3,53	317,9	198	1,60	153,0	86	1,78	27°C	464,7	138	3,37	164,7	98	1,68	82,6	49	1,68	28°C	339,7	106	3,20	87,6	61	1,44	43,1	31	1,39	29°C	244,8	79	3,10	42,1	31	1,36	21,5	15	1,43	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Temp. base</th> <th colspan="9">Frei Pacífico - outono</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Sensor externo</th> <th colspan="3">Sensor interno</th> <th colspan="3">Sensor interno - ocupação</th> </tr> <tr> <th>Graus-Hora</th> <th>N° de horas</th> <th>Grau-médio</th> <th>Graus-Hora</th> <th>N° de horas</th> <th>Grau-médio</th> <th>Graus-Hora</th> <th>N° de horas</th> <th>Grau-médio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>14°C</td> <td>182,6</td> <td>163</td> <td>1,12</td> <td>3,1</td> <td>8</td> <td>0,38</td> <td>1,2</td> <td>2</td> <td>0,60</td> </tr> <tr> <td>15°C</td> <td>390,8</td> <td>247</td> <td>1,58</td> <td>34,5</td> <td>58</td> <td>0,59</td> <td>12,1</td> <td>16</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>16°C</td> <td>714</td> <td>380</td> <td>1,87</td> <td>159,6</td> <td>178</td> <td>0,89</td> <td>38,7</td> <td>38</td> <td>1,02</td> </tr> <tr> <td>17°C</td> <td>1.183,1</td> <td>550</td> <td>2,15</td> <td>409,6</td> <td>322</td> <td>1,27</td> <td>99,9</td> <td>81</td> <td>1,23</td> </tr> <tr> <td>18°C</td> <td>1.842,9</td> <td>751</td> <td>2,45</td> <td>841,6</td> <td>517</td> <td>1,62</td> <td>208,7</td> <td>131</td> <td>1,59</td> </tr> <tr> <td>25°C</td> <td>529,3</td> <td>204</td> <td>2,59</td> <td>287,3</td> <td>210</td> <td>1,37</td> <td>157,6</td> <td>100</td> <td>1,58</td> </tr> <tr> <td>26°C</td> <td>355</td> <td>146</td> <td>2,43</td> <td>123,2</td> <td>114</td> <td>1,08</td> <td>76,8</td> <td>64</td> <td>1,20</td> </tr> <tr> <td>27°C</td> <td>224,7</td> <td>100</td> <td>2,24</td> <td>40,9</td> <td>48</td> <td>0,85</td> <td>28,6</td> <td>30</td> <td>0,95</td> </tr> <tr> <td>28°C</td> <td>138,4</td> <td>75</td> <td>1,84</td> <td>7,4</td> <td>16</td> <td>0,46</td> <td>6,3</td> <td>12</td> <td>0,52</td> </tr> <tr> <td>29°C</td> <td>76,4</td> <td>48</td> <td>1,59</td> <td>0,1</td> <td>1</td> <td>0,10</td> <td>0,1</td> <td>1</td> <td>0,10</td> </tr> </tbody> </table>	Temp. base	Frei Pacífico - outono									Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação			Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	14°C	182,6	163	1,12	3,1	8	0,38	1,2	2	0,60	15°C	390,8	247	1,58	34,5	58	0,59	12,1	16	0,76	16°C	714	380	1,87	159,6	178	0,89	38,7	38	1,02	17°C	1.183,1	550	2,15	409,6	322	1,27	99,9	81	1,23	18°C	1.842,9	751	2,45	841,6	517	1,62	208,7	131	1,59	25°C	529,3	204	2,59	287,3	210	1,37	157,6	100	1,58	26°C	355	146	2,43	123,2	114	1,08	76,8	64	1,20	27°C	224,7	100	2,24	40,9	48	0,85	28,6	30	0,95	28°C	138,4	75	1,84	7,4	16	0,46	6,3	12	0,52	29°C	76,4	48	1,59	0,1	1	0,10	0,1	1	0,10
	Temp. base	CPVAC - outono																																																																																																																																																																																																																																																																	
Sensor externo				Sensor interno			Sensor interno - ocupação																																																																																																																																																																																																																																																												
Graus-Hora		N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio																																																																																																																																																																																																																																																										
14°C	697	331	2,10	45,6	60	0,76	14,2	20	0,71																																																																																																																																																																																																																																																										
15°C	1.123,1	492	2,28	25,4	130	0,19	44,5	39	1,14																																																																																																																																																																																																																																																										
16°C	1.741,6	695	2,50	324,5	221	1,47	95,9	66	1,45																																																																																																																																																																																																																																																										
17°C	2.535,1	875	2,90	641,2	419	1,53	196,5	140	1,40																																																																																																																																																																																																																																																										
18°C	3.537,2	1089	3,25	1.197,7	696	1,72	387,7	239	1,62																																																																																																																																																																																																																																																										
25°C	824,6	221	3,73	575,4	312	1,84	256,5	122	2,10																																																																																																																																																																																																																																																										
26°C	624,8	177	3,53	317,9	198	1,60	153,0	86	1,78																																																																																																																																																																																																																																																										
27°C	464,7	138	3,37	164,7	98	1,68	82,6	49	1,68																																																																																																																																																																																																																																																										
28°C	339,7	106	3,20	87,6	61	1,44	43,1	31	1,39																																																																																																																																																																																																																																																										
29°C	244,8	79	3,10	42,1	31	1,36	21,5	15	1,43																																																																																																																																																																																																																																																										
Temp. base	Frei Pacífico - outono																																																																																																																																																																																																																																																																		
	Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação																																																																																																																																																																																																																																																												
	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio																																																																																																																																																																																																																																																										
14°C	182,6	163	1,12	3,1	8	0,38	1,2	2	0,60																																																																																																																																																																																																																																																										
15°C	390,8	247	1,58	34,5	58	0,59	12,1	16	0,76																																																																																																																																																																																																																																																										
16°C	714	380	1,87	159,6	178	0,89	38,7	38	1,02																																																																																																																																																																																																																																																										
17°C	1.183,1	550	2,15	409,6	322	1,27	99,9	81	1,23																																																																																																																																																																																																																																																										
18°C	1.842,9	751	2,45	841,6	517	1,62	208,7	131	1,59																																																																																																																																																																																																																																																										
25°C	529,3	204	2,59	287,3	210	1,37	157,6	100	1,58																																																																																																																																																																																																																																																										
26°C	355	146	2,43	123,2	114	1,08	76,8	64	1,20																																																																																																																																																																																																																																																										
27°C	224,7	100	2,24	40,9	48	0,85	28,6	30	0,95																																																																																																																																																																																																																																																										
28°C	138,4	75	1,84	7,4	16	0,46	6,3	12	0,52																																																																																																																																																																																																																																																										
29°C	76,4	48	1,59	0,1	1	0,10	0,1	1	0,10																																																																																																																																																																																																																																																										
Carta bioclimática		<p>1. Conforto                      2. Ventilação                      3. Resfriamento Evaporativo                      4. Massa Térmica p/ Resfriamento                      5. Ar Condicionado                      6. Umidificação                      7. Massa térmica p/ aquecimento                      8. Aquecimento Solar Passivo                      9. Aquecimento Artificial                      10. Ventilação / Massa Térmica                      11. Ventilação / Massa / Resfr. Evap.                      12. Massa Térmica / Resfr. Evap.</p> <p>- <b>Conforto: 20,5%, 443 horas [ext]; 51,2%, 1.106 horas [int]; 52,5%, 425 horas [ocupação]</b></p>	<p>1. Conforto                      2. Ventilação                      3. Resfriamento Evaporativo                      4. Massa Térmica p/ Resfriamento                      5. Ar Condicionado                      6. Umidificação                      7. Massa térmica p/ aquecimento                      8. Aquecimento Solar Passivo                      9. Aquecimento Artificial                      10. Ventilação / Massa Térmica                      11. Ventilação / Massa / Resfr. Evap.                      12. Massa Térmica / Resfr. Evap.</p> <p>- <b>Conforto: 31,4%, 678 horas [ext]; 56%, 1.210 horas [int]; 65,9%, 534 horas [ocupação]</b></p>																																																																																																																																																																																																																																																																

Os limites de conforto adotados, para a estação do outono, foram de 18°C a 29°C. Foram monitoradas 2160 horas (aquisições totais), dos quais 810 horas, em período de ocupação.

Os registros de temperatura para o CPVAC indicaram, externamente, uma variação de 7,5°C a 36,8°C e, internamente, de 12,2°C a 31,8°C. Para a Frei Pacífico, externamente, a variação foi de 10°C a 32,6°C e, internamente, de 13,3°C a 29,1°C. Ou seja, para uma amplitude de variação de temperaturas externas de 29,3K, no CPVAC, a amplitude de variação de temperaturas internas foi de 19,6K, representando um abrandamento relativo de 33,1% (19,6/29,3). No caso da Escola Frei Pacífico, o abrandamento relativo foi de 30,4% (15,8/22,7). Vê-se, pois, que para este parâmetro de comparação, o CPVAC apresentou um desempenho térmico levemente superior.

O amortecimento térmico e o atraso térmico proporcionado pela envolvente construtiva foram distintos nos estudos de caso. No CPVAC o amortecimento ficou em torno de 5,0K e o atraso térmico foi superior a 1 hora; na Frei Pacífico, o amortecimento foi inferior (ilustrado no gráfico de temperatura) e o atraso térmico, na maioria das vezes, foi nulo, sendo somente registrado quando houve mudança significativa da condição externa, por ocasião de uma onda de calor ou de frio.

O conforto foi registrado, internamente, no CPVAC, em 80% das horas analisadas e, na Frei Pacífico, em 79% das horas. Os valores de umidade relativa, no CPVAC, externamente, oscilaram de 24,1% a 95,1%, e, internamente, de 39,3% a 88,1%; na Frei Pacífico oscilaram, de 44,5% a 93,7% e de 47,8% a 89,1%, respectivamente.

Observando o grau-hora, para uma temperatura base de 18°C (registros foram efetivados a baixas temperaturas), foi possível identificar o CPVAC com maior n° de horas abaixo da  $T_b$  de aquecimento (1089 horas, somatório de 3.537,2 graus-hora, comparativamente, à Frei Pacífico, 751 horas e somatório de 1.842,9 gaus-hora). No CPVAC, o grau-médio sofreu redução de 3,25K para 1,72K e, na Frei Pacífico, de 2,45K para 1,62K.

Os percentuais de conforto térmico fornecidos pelo programa *Analysis Bio*, para a condição externa foram, de 20,5% no CPVAC e de 31,4% na Frei Pacífico e, para condição interna, foram de 51,2% e 56%, respectivamente. Verifica-se, pois, que o CPVAC apresentou um percentual de conforto inferior ao da Frei Pacífico, internamente. Porém, as condições de temperatura e UR deste, externamente, foram mais críticas e, ainda assim, a envoltória conseguiu atenuar estes extremos para valores próximos aos do outro estudo de caso.

#### *Análise comparativa do desempenho térmico – inverno:*

A Tabela 45 ilustra o resumo do desempenho térmico comparativo para o inverno.

Tabela 45: quadro de resumo comparativo – inverno

		Cpvac (Feliz/RS)	Frei Pacífico (Itapuã/RS)																
T	Temperatura de conforto: 18°C – 27°C	Temperatura de conforto: 18°C – 27°C	Temperatura de conforto: 18°C – 27°C																
	Horas de monitoramento: 1.353 horas [56 dias/9 h.]/ 520 horas [período de ocupação]	Horas de monitoramento: 2.256 horas [94 dias] / 884 horas [período de ocupação]	Horas de monitoramento: 2.256 horas [94 dias] / 884 horas [período de ocupação]																
Temperatura [°C]	Tmin <sub>ext</sub> : 3,2°C, Tmin <sub>int</sub> :8,6°C, amortecimento: 5,4K, φ: 1 hora Tmax <sub>ext</sub> : 31,4°C, Tmax <sub>int</sub> : 26,7°C, amortecimento: 4,7K, φ: 2 horas	Tmin <sub>ext</sub> : 5,8°C, Tmin <sub>int</sub> :11°C, amortecimento: 5,2K, φ: - , Tmin <sub>int</sub> : 9,2°C Tmax <sub>ext</sub> :31,3°C, Tmax <sub>int</sub> : 28,6°C, amortecimento: 2,7K, φ: -	Tmin <sub>ext</sub> : 5,8°C, Tmin <sub>int</sub> :11°C, amortecimento: 5,2K, φ: - , Tmin <sub>int</sub> : 9,2°C Tmax <sub>ext</sub> :31,3°C, Tmax <sub>int</sub> : 28,6°C, amortecimento: 2,7K, φ: -																
UR [%]	URmin <sub>ext</sub> : 35,5%, URmin <sub>int</sub> : 44,8% URmax <sub>ext</sub> : 95%, URmax <sub>int</sub> : 92,5% - Conforto: 37%, 496 horas [ext]; 75%, 1.017 horas [int]; 81%, 422 horas [ocupação]	URmin <sub>ext</sub> : 35,9%, URmin <sub>int</sub> :41,4% URmax <sub>ext</sub> : 94,9%, URmax <sub>int</sub> :93,6% - Conforto: 44%, 993 horas [ext]; 62%, 1.411 horas [int]; 69%, 608 horas [ocupação]	URmin <sub>ext</sub> : 35,9%, URmin <sub>int</sub> :41,4% URmax <sub>ext</sub> : 94,9%, URmax <sub>int</sub> :93,6% - Conforto: 44%, 993 horas [ext]; 62%, 1.411 horas [int]; 69%, 608 horas [ocupação]																
Graus-hora	CPVAC - inverno			Frei Pacífico - inverno															
	Temp. base	Sensor externo			Sensor interno			Sensor interno - ocupação											
14°C	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Temp. base	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio	Graus-Hora	N° de horas	Grau-médio			
15°C	2.681,4	671	4,00	1.051,5	511	2,06	338,6	147	2,30	14°C	2.093,6	764	2,74	874,6	553	1,58	222,7	151	1,47
16°C	3.389,7	736	4,60	1.617,4	606	2,67	508,3	188	2,70	15°C	2.953,2	941	3,14	1534,2	752	2,04	411,8	222	1,85
17°C	4.224,4	890	4,75	2.277,6	696	3,27	728,5	237	3,07	16°C	4.030,4	1.171	3,44	2.444,2	1.051	2,33	693,9	336	2,06
18°C	5.161,0	973	5,30	3.046,4	851	3,58	989,1	289	3,42	17°C	5.338,7	1.412	3,78	3.648,3	1.325	2,75	1087,8	434	2,51
18°C	6.181,7	1.056	5,85	3.971,6	986	4,03	1.321,2	366	3,61	18°C	6.882,3	1.639	4,20	5.190,4	1.692	3,07	1595,8	565	2,82
25°C	177,0	73	2,42	7,9	6	1,32	4	3	1,33	25°C	90,2	44	2,05	15,7	11	1,43	15,7	11	1,43
26°C	109,9	56	1,96	2,2	4	0,55	1,1	2	0,55	26°C	55,4	28	1,98	7,6	7	1,08	7,6	7	1,08
27°C	58,9	41	1,44	0	0	-	0	0	-	27°C	33,3	16	2,08	2,9	3	0,97	2,9	3	0,97
28°C	26,7	21	1,27	0	0	-	0	0	-	28°C	19,9	10	1,99	0,6	1	0,6	0,6	1	0,6
29°C	10,3	11	0,94	0	0	-	0	0	-	29°C	10,6	9	1,18	0	0	-	0	0	-
Carta bioclimática	Sensor externo			Sensor interno			Sensor externo			Sensor interno									
1. Conforto 2. Ventilação 3. Resfriamento Evaporativo 4. Massa Térmica p/ Resfriamento 5. Ar Condicionado 6. Umidificação 7. Massa térmica p/ aquecimento 8. Aquecimento Solar Passivo 9. Aquecimento Artificial 10. Ventilação / Massa Térmica 11. Ventilação / Massa / Resfr. Evap. 12. Massa Térmica / Resfr. Evap.			1. Conforto 2. Ventilação 3. Resfriamento Evaporativo 4. Massa Térmica p/ Resfriamento 5. Ar Condicionado 6. Umidificação 7. Massa térmica p/ aquecimento 8. Aquecimento Solar Passivo 9. Aquecimento Artificial 10. Ventilação / Massa Térmica 11. Ventilação / Massa / Resfr. Evap. 12. Massa Térmica / Resfr. Evap.			1. Conforto 2. Ventilação 3. Resfriamento Evaporativo 4. Massa Térmica p/ Resfriamento 5. Ar Condicionado 6. Umidificação 7. Massa térmica p/ aquecimento 8. Aquecimento Solar Passivo 9. Aquecimento Artificial 10. Ventilação / Massa Térmica 11. Ventilação / Massa / Resfr. Evap. 12. Massa Térmica / Resfr. Evap.			1. Conforto 2. Ventilação 3. Resfriamento Evaporativo 4. Massa Térmica p/ Resfriamento 5. Ar Condicionado 6. Umidificação 7. Massa térmica p/ aquecimento 8. Aquecimento Solar Passivo 9. Aquecimento Artificial 10. Ventilação / Massa Térmica 11. Ventilação / Massa / Resfr. Evap. 12. Massa Térmica / Resfr. Evap.										
- Conforto: 18,2%, 246 horas [ext]; 20,6%, 279 horas [int]; 20,8%, 108 horas [ocupação]			- Conforto: 18,2%, 246 horas [ext]; 20,6%, 279 horas [int]; 20,8%, 108 horas [ocupação]			- Conforto: 17,8%, 402 horas [ext]; 14,9%, 336 horas [int]; 24,3%, 215 horas [ocupação]			- Conforto: 17,8%, 402 horas [ext]; 14,9%, 336 horas [int]; 24,3%, 215 horas [ocupação]										

Os limites de temperatura de conforto adotados, para a estação do inverno, estão compreendidos entre 18°C e 27°C. Foram monitoradas 13 53 horas, com 520 horas em período de ocupação, e 2256 horas, com 884 horas em período de ocupação, respectivamente, no CPVAC e na Frei Pacífico.

Para o CPVAC, as temperaturas tiveram variação, externamente, de 3,2°C a 31,4°C e, internamente, de 8,6°C a 26,7°C. Para a Frei Pacífico, externamente, tiveram variação de 5,8°C a 31,3°C e, internamente, de 9,2°C a 28,6°C. Neste caso, para uma amplitude de variação de temperaturas externas de 28,2K, no CPVAC, a amplitude de variação de temperaturas internas foi de 18,1K, representando um abrandamento relativo de 35,8% ( $18,1/28,2$ ). No caso da Escola Frei Pacífico, o abrandamento foi de 23,9% ( $19,4/25,5$ ). Vê-se, pois, que para este parâmetro de comparação, mais uma vez a Escola de Feliz apresentou um desempenho térmico superior.

O amortecimento térmico e o atraso térmico proporcionado pela envolvente construtiva foram distintos nos estudos de caso. No CPVAC o amortecimento ficou em torno de 5,0K e o atraso térmico foi superior a 1 hora; na Frei Pacífico, o amortecimento somente alcançou valores elevados quando a condição externa sofreu modificação, por ocasião de uma onda quente ou fria e o atraso térmico foi nulo.

Os índices de umidade relativa registrados no CPVAC indicaram que esta edificação esteve submetida a um ambiente externo mais desfavorável, sob este aspecto. O conforto avaliado segundo os diagramas bioclimáticos, externamente, no CPVAC, foi de 37% e, na Frei Pacífico, de 44%. Embora o padrão observado nas análises anteriores tenha se repetido, os dados, no inverno, estiveram mais próximos nos dois estudos de caso. As variações de umidade relativa, no CPVAC, externamente, foram de 35,5% a 95% e, internamente, de 44,8% a 92,5%. Na Frei Pacífico, as variações de umidade relativa, externamente, foram de 35,9% a 94,9% e, internamente, de 41,4% a 93,6%.

Observando o grau-hora, para a temperatura base de 18°C, externamente, o CPVAC apresentou somatório de temperaturas requerendo climatização inferior à Frei Pacífico (6.181,7 graus-hora para o CPVAC e 6.882,3 graus-hora para a Frei Pacífico). O nº de horas em que requerendo aquecimento também foi menor no CPVAC, com 1.056 horas; em comparação à Frei Pacífico, com 1.639 horas. O desempenho da edificação pode ser mais bem observado com o parâmetro do grau-médio: o grau-médio sofreu redução de 5,85K (externo) para 4,0K (interno), no CPVAC e redução de 4,2K para 3,1K, na Frei Pacífico. Portanto, a redução maior no grau-médio identifica o desempenho mais satisfatório do CPVAC.

Os percentuais de conforto higrotérmico fornecidos pelo programa *Analysis Bio*, para a condição externa foram, de 18,2% no CPVAC e de 17,8% na Frei Pacífico e, para condição interna, foram de 20,6% e 14,9%, respectivamente.

No CPVAC, as condições internas foram melhoradas em um pequeno percentual se comparadas às externas em outras estações do ano. Atribui-se o desempenho menos satisfatório no inverno, à alta transmitância dos fechamentos transparentes e ao grande número de frestas existentes, que diminuiram o desempenho desta edificação. Na Frei Pacífico, o desempenho também foi inferior as demais estações; a ventilação mais efetiva da Frei Pacífico, em razão do seu uso, pode ter reduzido os valores de temperatura registrados internamente.

*O desempenho térmico comparativo, durante o verão, outono e inverno, nos estudos de caso*

Na Tabela 46 são apresentados os resultados resumidos, em percentuais, das horas de conforto nas salas de aula do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí e da Escola Frei Pacífico. Note que, somente a carta psicrométrica utiliza dados conjugados de temperatura e umidade relativa e, por este motivo, apresenta uma percentagem menor de conforto se comparada aos demais dados.

Tabela 46: resumo do conforto térmico nas salas de aula - percentuais de horas nas zonas de conforto, segundo diferentes critérios de avaliação, nos períodos avaliados conjuntamente nas duas escolas

		Histograma (faixas de temperatura de conforto)	Carta psicrométrica de Givoni
CPVAC	verão	76,7%	54,85%
	outono	66,3%	51,2%
	inverno	27,1%	20,6%
Frei Pacífico	verão	80,8%	57,9%
	outono	76,0%	56,0%
	inverno	24,9%	14,9%

Os resultados apresentaram uma variação considerável, se compararmos os percentuais de conforto dos histogramas e os percentuais de conforto das cartas psicrométricas. Os valores foram mais similares no inverno e mais distintos no verão. Este fato pode estar associado aos elevados índices de umidade relativa que foram registrados no verão e, dessa forma, reduzem o percentual de conforto se utilizada a metodologia da carta psicrométrica. Entende-se, dessa forma, que, por utilizar as duas variáveis (temperatura e umidade relativa), apresenta resultados mais próximos da realidade e, portanto, mais fidedignos.

Em geral, se avaliadas através da carta psicrométrica de Givoni, nos períodos de verão e de outono, as salas de aula estiveram em conforto térmico em pouco mais de 50% do tempo, com o desconforto se acentuando no período de inverno, quando foram registrados percentuais de conforto bem menores (20,6% no CPVAC e 14,9% na Frei Pacífico).

Assim, através da análise dos dados constantes na Tabela 45, depreende-se que, exceto pela condição de inverno, a Escola Frei Pacífico apresentou um percentual de horas em zona de conforto superior ao registrado no Centro de Educação Profissional do Vale do Caí.

No entanto, conforme evidenciado pelos dados da Tabela 41, Tabela 42, Tabela 43 e Tabela 44, o envelope do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí apresentou melhor desempenho térmico do que a Escola Frei Pacífico, já que com sua elevada inércia térmica foi mais eficaz em amortecer as temperaturas, assim como pelas características de suas paredes, apresentando maior porosidade (cerâmica x granito), lhe possibilitou absorver melhor a umidade excessiva em seus fechamentos. No período do inverno, entretanto, tanto uma como a outra escola estudada tiveram o seu desempenho térmico prejudicado, provavelmente vinculado às frestas existentes nas esquadrias (determinando infiltrações) e um valor reduzido para o isolamento térmico dos fechamentos transparentes, se comparados aos fechamentos opacos. Na resposta da edificação deve ser considerado o tipo de ventilação ocorrente (ou a ausência desta): merece destaque o fato de as esquadrias permanecerem predominantemente fechadas no CPVAC, em razão da interrupção das aulas (problemas no telhado). É de entendimento que a redução da ventilação compromete as trocas térmicas e, que, quando as edificações são avaliadas nestas condições, podem apresentar respostas mais satisfatórias, embora estas não sejam representativas das reais condições de uso.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo tem por função retomar os objetivos geral e intermediários apontados nesta pesquisa, respondendo-os e indicando de que forma este trabalho colaborou para o desenvolvimento do conhecimento da problemática abordada.

Em resposta ao objetivo intermediário de **descrever e analisar as estratégias de projeto dos estudos de caso**; entendeu-se a necessidade de apontar as características físicas e construtivas das salas de aula analisadas. Foi necessário analisar os projetos arquitetônicos e, assim, buscou-se relatar as condições encontradas em cada escola.

Neste processo, outro objetivo intermediário, da mesma forma, foi alcançado: **apresentar as propriedades térmicas dos fechamentos das salas analisadas**; as propriedades térmicas dos fechamentos, conjuntamente, com a análise da ventilação das salas monitoradas, possibilitaram identificar aspectos distintos entre os estudos de caso e, ainda, auxiliaram na avaliação dos resultados, que se seguiram. A partir da validação deste objetivo, uma questão de pesquisa pode ser respondida: qual a resposta das variáveis atraso e amortecimento térmico, comparativamente? Em razão das propriedades térmicas dos fechamentos e suas espessuras, pode ser conhecida a inércia térmica e, conseqüentemente, antecipada a resposta do amortecimento e atraso térmico. A inércia térmica foi mais satisfatória na sala de aula, em Feliz, no CPVAC. Estima-se que o isolamento térmico proporcionado pelo telhado e pelas paredes duplas de tijolos maciços, do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí (CPVAC), tenha contribuído para o melhor desempenho térmico da edificação. No entanto, observou-se a redução deste desempenho no período do inverno, o qual se atribuiu à existência de frestas nas diversas esquadrias, que permitiram o incremento nas perdas de calor.

A avaliação de dois estudos de caso, em municipalidades distintas, permitiu atender ao terceiro objetivo intermediário, de **disponibilizar informações sobre os dados meteorológicos coletados junto aos edifícios analisados, nas municipalidades de Feliz e Itapuã, como contribuição a estudos futuros, tendo por base os períodos de avaliação estudados**. Uma questão paralela ao atendimento deste objetivo foi a verificação da existência, ou não, de diferenças significativas entre o clima da municipalidade de Feliz e o de Itapuã, comparativamente ao de Porto Alegre? Entendeu-se que seria importante uma contribuição nesta temática, já que o município de Porto Alegre dispõe de dados climáticos que carecem em outros municípios e este estudo poderia indicar a possibilidade de se utilizar, em futuros estudos nestes dois municípios, os dados climáticos de Porto Alegre. A

partir dos resultados, percebeu-se haver um certo grau de distinção entre os diferentes climas, provavelmente atribuíveis ao impacto das massas de terra e massa d' água, próximas às diferentes localidades. Os dados medidos permitiram comprovar que em locais mais distantes de massas de água, o clima tende a apresentar variações maiores nas temperaturas; e em locais próximos às massas d' água, o clima tende a ser influenciado pelo efeito abrandador de temperaturas dos corpos d' águas adjacentes. Assim, justificaram-se os dados encontrados, que demonstram as temperaturas ambientais exteriores com maior amplitude, na edificação mais distante das massas d' água; no caso, em Feliz.

Embora haja esta variação, os gráficos mostraram, na ausência de outros dados, ser válida a utilização dos dados climáticos de Porto Alegre, como referenciais para regiões próximas (no caso, tanto para Feliz, como para Itapuã). Deve-se, no entanto, atentar para as características já apontadas nesta análise e para particularidades, típicas de cada local, não devidamente aprofundados ao longo de apenas um ano de medições.

Algumas características associadas aos instrumentos de medição utilizados nesta pesquisa também foram avaliados. Buscou-se, assim, atender a outro objetivo intermediário desta pesquisa, o de **verificar eventuais alterações nos valores numéricos das variáveis avaliadas, associadas à sua posição e altura, nos locais de medição**. Aqui, questionou-se se a sensibilidade dos sensores dos instrumentos utilizados seria suficiente para determinar diferenças significativas nas medições realizadas, para duas das variáveis (temperatura e umidade relativa), em decorrência de diferenças nas alturas de fixação dos sensores. Os instrumentos utilizados, *data loggers*, foram testados comparando-se os resultados obtidos para a altura normativa, de 1,10m, e com aqueles resultantes da adoção de uma altura de 3,00m. Observou-se variação nos valores numéricos das variáveis coletadas. No entanto, a variação verificada esteve compreendida dentro dos limites de precisão do sensor, indicados em seu manual de utilização.

No atendimento aos objetivos intermediários restantes, relativos à avaliação do desempenho térmico das salas avaliadas, procurou-se: **apontar distinções entre o desempenho térmico das edificações em período com e sem ocupação pelos usuários**. Basicamente, buscou-se responder à questão: que diferenças existem entre o desempenho térmico das edificações, em período com e sem ocupação pelos usuários? Foi importante também, delimitar quais as variáveis implícitas no uso e a ausência deste na edificação, bem como definir os períodos correspondentes. No tocante a esta questão, buscou-se analisar, em gráficos, os períodos em que a edificação esteve em uso e sem ocupação pelos usuários. As avaliações foram realizadas em dias consecutivos incluindo finais de semana (sem uso), em que ocorreram sequências de dias com temperaturas baixas e altas

temperaturas. Ao final, foram realizadas análises mais aprofundadas, em que se monitorou uma semana para cada condição. Infelizmente, na falta de um período de monitoramento mais extenso, com controle efetivo das variáveis, algumas das conclusões não puderam ser aprofundadas. Teve-se dificuldade de monitorar a edificação por um período maior do que os finais de semana, para condição da edificação sem uso e, mais efetivamente, do controle de que não houvesse interferência na sala de aula (já que no período de férias, constantemente, havia manuseio nas salas de aula, o que comprometia a pesquisa). Evidenciou-se a necessidade de estudos neste âmbito, com controle e delimitação adequados do período de monitoramento.

Por fim, este trabalho buscou responder ao objetivo geral: o de **analisar o desempenho térmico do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí e o da Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico**, de modo simultâneo ao último objetivo secundário, que foi o de **apontar eventuais diferenciações entre o desempenho térmico da edificação e o desempenho térmico da edificação em período de ocupação**. Questionou-se: qual a resposta, em termos de desempenho térmico, para escolas que detêm tipologias semelhantes e técnicas construtivas diferenciadas? E, ainda: há distinção significativa entre o desempenho térmico da edificação e o desempenho térmico em período de ocupação, para estes estudos de caso? A resposta à avaliação do desempenho higrotérmico dos estudos de caso demonstrou que, apesar de mesma tipologia arquitetônica (circulação coberta e aberta, voltada para orientação norte), houve um melhor desempenho da edificação do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí, no Município de Feliz. No entanto, houve dificuldades na conclusão do comparativo, pelo fato de as medições terem sido finalizadas, antecipadamente, em Feliz (CPVAC). Também, foram prejudiciais ao bom andamento das medições, os problemas ocorridos no processo de coleta de dados, que restringiram algumas análises previstas, principalmente, as ocorridas na escola Frei Pacífico, no período da primavera. Os problemas estiveram associados ao mau funcionamento e à falha dos sensores. A partir da coleta e análise dos dados, estruturadas por estação do ano, entendeu-se conveniente evidenciar a análise em termos comparativos, auxiliando o entendimento dos resultados obtidos por esta dissertação.

No tocante ao desempenho higrotérmico da edificação e o desempenho em período de ocupação, nos dois estudos de caso, foram verificadas similaridades. Analisando-se, através do somatório de horas, para diferentes condições térmicas, verificou-se serem maiores as condições de conforto, quando as salas se encontravam em ocupação, do que quando desocupadas. Isto se deve, provavelmente, à eliminação dos dados noturnos, que no inverno diminuem a média das temperaturas e, conseqüentemente, a condição de conforto; assim como, a eliminação dos meses de janeiro e fevereiro, que no verão elevam a média

das temperaturas e correspondem às férias letivas, portanto, não estando associadas com o tipo de atividade desenvolvida (escolar). Em adição, os picos de temperatura correspondem, normalmente, ao horário entre 5-7 horas, para valores mínimos, e entre 14-16 horas, para valores máximos. Sendo assim, em razão do atraso térmico proporcionado pela envolvente construtiva, pode acontecer de os picos de temperatura poderem ficar fora do período de ocupação da escola, resultando em maior conforto térmico internamente.

Em suma, os pressupostos apontados inicialmente, estruturados na linearidade entre a satisfação dos usuários e o desempenho higrotérmico da edificação, podem ser ainda explorados, com a continuidade destes estudos, através da percepção dos usuários. Na elaboração deste trabalho foi inviável esta análise: primeiramente, porque os usuários possuíam faixas etárias distintas; e, em segundo lugar, o Centro de Educação Profissional do Vale do Caí não esteve funcionando em sua normalidade, por um período considerável.

Finalmente, cabe destacar a importância de edificações serem projetadas para cada local específico. Para cada região climática existem diretrizes de projeto que favorecem o conforto e o desempenho térmico dos espaços construídos e, que podem qualificar os ambientes, a partir da utilização de princípios adequados, como orientação solar, direção predominante de ventos, dimensões de aberturas, dispositivos de sombreamento, revestimentos, cores, materiais, espessuras, etc.

## 5.1 SUGESTÕES PARA A MELHORIA DAS EDIFICAÇÕES

O desenvolvimento do trabalho possibilitou identificar melhorias que poderão ser realizadas nos sistemas construtivos dos casos avaliados. Estes quesitos são efetivamente encaminhados quando bem resolvidos na etapa de projeto da edificação. Quando não satisfeitos neste momento, muitas vezes requerem correção posterior, quando da edificação em uso, com implicações de custo e prejuízo às atividades escolares. Muitas destas diretrizes, quando adequadamente encaminhadas, podem reduzir os custos com energia, diminuir o impacto da edificação no meio ambiente e, ainda, qualificar o ambiente ao usuário. Estas sugestões são enumeradas para o Centro de Educação Profissional do Vale do Caí e para a Escola Frei Pacífico:

### *Centro de Profissional do Vale do Caí*

- a) As paredes duplas contribuíram para um mais qualificado desempenho da edificação. No entanto, a eficácia do fechamento (inércia térmica e isolamento térmico) ficou comprometida pelo uso de vidros simples (que possuem alta transmitância térmica). Estudos, como os de simulação de desempenho

térmico, poderiam ser realizados para verificar qual o tipo e espessura de vidro que melhor contribuiria para um melhor desempenho térmico da sala de aula e, em harmonia com as propriedades térmicas dos fechamentos opacos utilizados. Seria de fundamental importância, para um melhor desempenho térmico, a redução das frestas existentes, evitando as perdas de calor no inverno;

- b) Sugere-se a preservação das esquadrias superiores, na fachada norte, para o incremento da ventilação (efeito chaminé);
- c) Outras contribuições para a melhoria no desempenho podem ser associadas às esquadrias, que, em função do tipo escolhido, apresentaram reduzida ventilação (tipo de abertura e angulação). Outros tipos de esquadrias, com ângulo de abertura maior, poderiam contribuir para a melhoria do conforto no interior da sala de aula.

#### *Escola de Ensino Fundamental Frei Pacífico*

- a) O telhado pode, através da ventilação convectiva, auxiliar no desempenho térmico do ambiente. Portinholas móveis podem ser instaladas nos beirais, nas duas orientações, sul e norte: no verão, quando abertas, permitirão um resfriamento da cobertura, através da renovação do ar; no inverno, permanecendo fechadas e se corretamente estanques, reduzirão as perdas de calor pela edificação.

Em suma, para projetos de edificações melhor qualificadas, de mesma natureza, sugere-se, basicamente, a adoção de um sistema construtivo que permita, no verão, isolamento ou baixa transmitância térmica da cobertura e, no inverno, valendo-se da angulação do sol, o aquecimento passivo do ambiente interno (evitando-se ofuscamento), assim como a redução de frestas (maior estanqueidade).

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento deste trabalho respondeu a alguns questionamentos iniciais, mas em razão de problemas constatados no decorrer da pesquisa, limitou algumas das conclusões esperadas. Entende-se que o aprofundamento destes estudos contribua para o

aprimoramento de futuros projetos, havendo assim, a necessidade de continuidade desta abordagem. São apontados, por fim, sugestões para trabalhos futuros:

- a) Proceder a simulações de desempenho térmico, através de *softwares* específicos, confrontando-as com as análise do desempenho térmico do Centro de Educação Profissional do Vale do Caí e da Escola Frei Pacífico, *in loco*, realizada nesta pesquisa;
- b) Analisar a interferência da esquadria superior no desempenho térmico (insolação, ventilação convectiva) dos estudos de caso;
- c) Verificar a diferenciação do desempenho térmico da edificação em uso e sem ocupação dos usuários, a partir de um monitoramento prolongado das variáveis (temperatura e umidade relativa) e controle efetivo de outros condicionantes (esquadrias, frestas, geração de calor interno pelo metabolismo dos ocupantes).

Em suma, as pesquisas com esta temática deverão promover a adoção de práticas mais sustentáveis, alinhadas ao condicionamento passivo das edificações. As pesquisas podem subsidiar, revisar, desenvolver e promover novas interpretações, visando a melhoria contínua das edificações, nos temas de desempenho e conforto térmico.

## REFERÊNCIAS

- ADRIAZOLA, M. K. O. **Avaliação do desempenho térmico de salas de aula do CPVAC-PR, Unidade de Curitiba**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220 - **Desempenho térmico de edificações**: Parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220 - **Desempenho térmico de edificações**: Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220 - **Desempenho térmico de edificações**: Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. ABNT, 2005c.
- AKUTSU, M. S; SATO N. M; PEDROSO, N. G. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares**: manual de procedimento para avaliação. São Paulo: IPT, 1987.
- AKUTSU, M; VITTORINO, F. **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social**. São Paulo: IPT, 1998.
- AROZTEGUI, J. **Parâmetros do conforto térmico de Porto Alegre**. Porto Alegre: UFRGS, 1977.
- BARBOSA, M. J; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. **Uso de barreiras de radiação para minimizar o erro no registro das temperaturas do ar em edificações**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 117-136, out./dez. 2008.
- BERNARDI, N.; KOWALTOWSKI D. **Avaliação da interferência comportamental do usuário para a melhoria do conforto ambiental em espaços escolares: estudo de caso em Campinas – SP**. In: ENCAC 2001. São Pedro, 2001.
- BOGO, A; VOSS, M. **Avaliação de conforto ambiental e de sustentabilidade em edificações escolares: aspectos negativos encontrados**. In: ENCAC 2001. São Pedro, 2001.
- BROWN, G. Z; DEKAY, M. **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. Trad. Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. 2ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- CORBELLA, O; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.
- COSTA, E. **Física aplicada à construção: conforto térmico**. 3ed. São Paulo, Blücher, 1974.

DOS SANTOS, I. G; DORNELLES, K. A.; DE SOUZA, R. V. **Absortância Solar de Superfícies e o regulamento brasileiro para eficiência energética nos edifícios.** In: ENTAC 2010. Canela, 2010.

EASTERBY-SMITH, M; THORPE, R; LOWE, A. **Management research: an introduction.** London, Sage, 1991.

FERRARO, L. W; HASENACK, H. **Aspectos do clima de Porto Alegre.** In: ZURITA, M.L.L; TOFO, A.M. (Org.) **Qualidade do ar em Porto Alegre.** Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2000.

FROTA, A. B; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico.** 2.ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

FUNARI, T. B. S; KOWALTOWSKI, D. C. C. **Arquitetura escolar e avaliação pós-ocupação.** In: Encac 2005. Maceió, 2005.

GEMELLI, C. B. **Avaliação do conforto ambiental em edificação escolar de ensino fundamental.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFRGS, Porto Alegre, 2009.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1997.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings.** Lausanne, v. 18, n.1, 1992.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture.** 2.ed. London: Applied Science Publishers. 1976.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras.** 2ed. Florianópolis, 1998.

GRIGOLETTI, G. **Método de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social para Porto Alegre - RS.** Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFRGS, 2007.

KOENIGSBERGER, O. H; INGERSOLL, T. G; MAYHEW, A; SZOKOLAY, S. V. **Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales.** Madrid: Paraninfo, 1977.

LABAKI, L.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. **Avaliação do conforto térmico e luminoso de prédios escolares da rede pública, Campinas – SP.** In: ENCAC 2001. São Pedro, 2001.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** São Paulo: PW Editores, 1997.

MARQUARDT, H. E. **Determinantes climatológicos para a arquitetura em Porto Alegre e Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: UFRGS, 1969.

MORELLO, A. **Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

NOGUEIRA, M. C; NOGUEIRA, J. **Educação, meio ambiente e conforto térmico: caminhos que se cruzam**. Rev. eletrônica Mestr. Educ. Ambient. ISSN 1517-1256. Fundação Universidade Federal do Rio Grande, n10, jan/jun, 2003.

OCHOA, J. H. **Análise do conforto ambiental em salas de aula da Universidade Federal de Goiás**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Construção Civil e Mecânica das Estruturas, UFG, Goiânia, 2010.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona: GG, 1998.

PAPST, A. L. **Uso de Inércia térmica no clima subtropical. Estudo de caso em Florianópolis – SC**. Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Santa Catarina, 1999.

PIETROBON, C; LAMBERTS, R; PEREIRA, F. **Estratégias bioclimáticas para o projeto de edificações: conceituação e aplicação para Maringá – PR**. In: ENCAC 2001. São Pedro, 2001.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. 1. ed. Porto Alegre: D.C Luzzato, 1985.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. 2. ed. Porto Alegre: D.C Luzzato, 1986.

SILVA, H.; KINSEL, L. **Região Climática de Porto Alegre: revisão para um desenho inteligente e uma arquitetura adequada**. Revista Arqtexto. PROPARG. Porto Alegre, n9, dez, 2006.

SATTLER, M. A. **Dias climáticos típicos para o projeto térmico de edificações em Porto Alegre**. In: Boletim técnico CIENTEC. Porto Alegre, n9, jan, 1989.

SILVA, M. **Análise de dois empreendimentos educacionais construídos segundo princípios de sustentabilidade, no estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2009.

SENSIRION. **DataSheet SHT1x: Humidity and Temperature Sensor**. Version 4.1. 2008.

SUZUKI, E. H; PRADO, R. T. A. **Avaliação do conforto térmico e do nível de CO2 em edifícios de escritórios com climatização artificial na cidade de São Paulo**. In: ENTAC 2010. Canela, 2010.

SZOKOLAY, S. V. **Environmental Science Handbook: for architects and builders**. Lancaster, England: Pitman, 1980.

SZOKOLAY, S. V. **Thermal Design of Buildings**. Australia, Canberra: Raia Education Division, 1987.

TUBELO, R. C. S; SATTLE, M. A. **Análise comparativa do comportamento térmico de salas de aula de duas edificações escolares distintas, no período do solstício de verão**. In: ENTAC 2010. Canela, 2010.

ZANIN, N et al. **Projeto Sustentável para a Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico**. In: ENTAC 2006. Florianópolis, 2006.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

[www.sensirion.com/en/01\\_humidity\\_sensors/02\\_humidity\\_sensor\\_sht11.htm](http://www.sensirion.com/en/01_humidity_sensors/02_humidity_sensor_sht11.htm). Acessado em: 21 de setembro de 2010 às 12 horas.