

JÚLIA BARROS VALADÃO

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DE UMA BIBLIOTECA
UNIVERSITÁRIA PELA ASHRAE *STANDARD* 55 E EN 15251**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011**

JÚLIA BARROS VALADÃO

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DE UMA BIBLIOTECA
UNIVERSITÁRIA PELA ASHRAE STANDARD 55 E EN 15251**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 29 de setembro de 2011.

Prof. José Luiz Rangel Paes
(Coorientador)

Prof^a. Joyce Correna Carlo
(Coorientadora)

Prof. Enedir Ghisi
(UFSC)

Prof. Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo amor, carinho e apoio incondicional em todas as etapas da minha vida;

Ao Igor pelo amor, carinho e apoio em todos os momentos durante o mestrado;

À Bella e ao Gui, meus companheiros de república pela ajuda e compreensão nas horas difíceis;

Ao Professor Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá, pela orientação;

Ao Professor José Luiz Rangel Paes por todas as considerações sugeridas;

À Professora Joyce Correna Carlo, pelo carinho, amizade, dedicação, incentivo e pelas inúmeras horas de orientação e discussão, sem a qual essa pesquisa não teria saído;

Ao Professor Eneid Ghisi, por participar da banca e das valiosas sugestões;

Ao José Reinaldo de Freitas pela autorização de realização da pesquisa na Biblioteca Central da UFV, e pelas inúmeras vezes em que deixou sua família nos finais de semana, para liberar a edificação e ficar à disposição do que fosse necessário, de forma a permitir com que esse estudo fosse realizado;

Ao Sr. Souza, Paulo Rufino, Aparecida e a todos os demais funcionários da Biblioteca Central da UFV, por todo apoio e carinho durante as fases de medições higrotérmicas;

Ao Professor José Ivo Ribeiro Júnior, pela ajuda com os tratamentos estatísticos;

Ao Sr. Policarpo, pelo fornecimento dos dados climáticos da cidade de Viçosa para viabilizar o desenvolvimento do arquivo climático;

À todo o pessoal do Laboratório de Conforto e Eficiência Energética do DAU, pela amizade, discussões, ajuda com a calibração dos termômetros e, principalmente ao Ítalo, pelo desenvolvimento do arquivo climático à tempo para utilização nas simulações;

À Cássia e ao Rômulo pela amizade, pelas caronas e pelas hospedagens em todas as vezes que precisei vir à Viçosa;

À todo o pessoal da Diretoria de Projetos e Obras pelo carinho, amizade e compreensão, durante todo o tempo em que estive acompanhando obras na UFV durante o período da pesquisa;

À Zamira, Bella, Igor e Ítalo pela ajuda com as medições higrotérmicas;

À tia Vera e tio José pelas hospedagens em BH durante as idas e vindas;

Ao Chupeta (*in memorian*) pela amizade, conselhos, pelas caronas e pelo ombro amigo em todas as vezes que precisei, desde a época da graduação;

À Cristina Schemes, por toda ajuda com a parte burocrática na UFV e pela amizade;

À todas as outras pessoas que de qualquer forma contribuíram para a realização desta pesquisa

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS E QUADROS	xvi
RESUMO	xix
ABSTRACT	xx
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA	1
1.2. OBJETIVOS	4
1.2.1. <i>Objetivo geral</i>	4
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
1.3. ESTRUTURA.....	4
2. DESCRIÇÃO DO OBJETO	6
2.1. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO USADO COMO ESTUDO DE CASO – BIBLIOTECA CENTRAL DA UFV	6
2.2. CLIMA DE VIÇOSA.....	12
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1. CONFORTO HIGROTÉRMICO	17
3.1.1. <i>Conforto humano</i>	17
3.1.1.1. <i>Normas técnicas sobre conforto higrotérmico</i>	18
3.1.1.2. <i>Temperatura operativa</i>	22
3.1.2. <i>Adequação ambiental para material bibliotecário</i>	23
3.2. VENTILAÇÃO NATURAL	25
3.2.1. <i>Coefficientes de pressão</i>	26
3.2.2. <i>Coefficientes de frestas</i>	28
3.2.3. <i>Coefficientes de descarga</i>	30
3.3. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	30
3.3.1. <i>Método BESTEST</i>	31
3.3.2. <i>EnergyPlus</i>	32
3.3.3. <i>Modelagem da edificação</i>	33
3.3.3.1. <i>Átrios</i>	33
3.3.3.2. <i>Padrões de uso e ocupação</i>	35
3.3.3.4. <i>Validação do modelo</i>	36
4. MÉTODO	39
4.1. MEDIÇÕES HIGROTÉRMICAS <i>IN LOCO</i>	40
4.1.1. CALIBRAÇÃO DOS TERMÔMETROS DE GLOBO NEGRO	42
4.2. TESTES DE PRÉ-MODELAGEM	43
4.2.1. OBJETIVO DOS TESTES DE PRÉ-MODELAGEM E PROGRAMA UTILIZADO	43
4.2.1.1. <i>Arquivo climático usado</i>	43
4.2.1.2. <i>Tipos de testes e variáveis da modelagem</i>	43
4.2.1.3. <i>Dados analisados</i>	45
4.2.1.4. <i>Tratamento estatístico</i>	45
4.2.2. CASOS COM DIFERENTES ALTURAS DE PÉ-DIREITO (1.A).....	47
4.2.3. CASOS COM AUMENTO NA ALTURA DO PÉ-DIREITO TOTAL (1.B).....	48
4.2.4. CASOS COM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE PLANTA BAIXA (1.C)	49

4.2.5.	ESTUDO REALIZADO COM UMA SALA DA BIBLIOTECA (B)	53
4.3.	MODELAGEM DO EDIFÍCIO USADO COMO ESTUDO DE CASO	54
4.3.1.	VARIÁVEIS DA MODELAGEM	55
4.3.1.1.	<i>Volumetria</i>	55
4.3.1.2.	<i>Materiais utilizados</i>	57
4.3.1.3.	<i>Carga dos equipamentos elétricos e lâmpadas</i>	57
4.3.1.4.	<i>Carga devida à ocupação</i>	59
4.3.1.5.	<i>Horários de funcionamento da edificação</i>	61
4.3.1.6.	<i>Temperaturas do solo</i>	62
4.3.1.7.	<i>Distribuição solar</i>	62
4.3.1.8.	<i>Parâmetros utilizados para a ventilação natural</i>	62
4.4.	VALIDAÇÃO DO MODELO EXPERIMENTAL.....	64
4.4.1.	ARQUIVO CLIMÁTICO USADO	65
4.4.2.	VARIÁVEIS AMBIENTAIS ANALISADAS.....	65
4.4.3.	PARÂMETROS AJUSTADOS NO MODELO	65
4.4.4.	CRITÉRIOS PARA A VALIDAÇÃO DO MODELO	66
4.5.	TRATAMENTO DOS DADOS FINAIS PARA A ANÁLISE DE CONFORTO HIGROTÉRMICO	67
4.5.1.	PARÂMETROS DE CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS NECESSÁRIAS PARA AS ANÁLISES 67	
4.5.1.1.	<i>Parâmetro utilizado para conforto higrotérmico humano</i>	67
4.5.1.2.	<i>Parâmetro utilizado para verificação da adequação ambiental do material bibliotecário</i>	67
4.5.2.	NÍVEIS DE CONFORTO HIGROTÉRMICO ADOTADOS.....	68
5.	RESULTADOS.....	70
5.1.	CALIBRAÇÃO DOS TERMÔMETROS DE GLOBO NEGRO	70
5.2.	TESTES DE PRÉ-MODELAGEM	71
5.2.1.	CASOS COM DIFERENTES ALTURAS DE PÉ-DIREITO (1.A).....	72
5.2.1.1.	<i>Ventilação natural</i>	72
5.2.1.2.	<i>Condicionamento artificial</i>	75
5.2.2.	CASOS COM AUMENTO NA ALTURA DO PÉ-DIREITO TOTAL (1.B).....	79
5.2.2.1.	<i>Ventilação natural</i>	79
5.2.2.2.	<i>Condicionamento artificial</i>	82
5.2.3.	CASOS COM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE PLANTA BAIXA (1.C)	86
5.2.3.1.	<i>Ventilação natural</i>	86
5.2.3.2.	<i>Condicionamento artificial</i>	89
5.2.4.	ESTUDO REALIZADO COM UMA SALA DA BIBLIOTECA (B)	93
5.2.4.1.	<i>Ventilação natural</i>	93
5.2.4.2.	<i>Condicionamento artificial</i>	97
5.2.4.3.	<i>Resultados da simulação A</i>	101
5.2.4.4.	<i>Resultados da simulação B</i>	103
5.2.4.5.	<i>Resultados da simulação C</i>	104
5.2.4.6.	<i>Resultados da simulação D</i>	106
5.2.4.7.	<i>Resultados da simulação E</i>	108
5.2.4.8.	<i>Resultados da simulação F</i>	109
5.2.5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS DAS VERSÕES DE VALIDAÇÃO 110	
5.3.	ANÁLISE DE CONFORTO HIGROTÉRMICO PARA HUMANOS CONFORME AS NORMAS ANALISADAS	110

5.4.	ANÁLISE DAS CONDIÇÕES HIGROTÉRMICAS DO AR PARA FINS DE CONSERVAÇÃO DE MATERIAL BIBLIOGRÁFICO	118
6.	CONCLUSÕES	119
6.1.	TERMÔMETROS DE GLOBO NEGRO	119
6.2.	TESTES DE PRÉ-MODELAGEM	119
6.3.	VALIDAÇÃO DO MODELO EXPERIMENTAL.....	120
6.4.	NORMAS ASHRAE <i>STANDARD</i> 55 (2004) E EN 15251 (2007)	121
6.5.	CONFORTO HIGROTÉRMICO NA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFV	122
6.6.	LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	123
6.7.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	123
	APÊNDICE A – GRÁFICOS DA TEMPERATURA DO AR DA SIMULAÇÃO A.....	129
	APÊNDICE B – GRÁFICOS DA UMIDADE RELATIVA DO AR DA SIMULAÇÃO A.....	130
	APÊNDICE C – GRÁFICOS DA TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE DA SIMULAÇÃO A ..	132
	APÊNDICE D – GRÁFICOS DA TEMPERATURA DO AR DA SIMULAÇÃO B.....	133
	APÊNDICE E – GRÁFICOS DA UMIDADE RELATIVA DO AR DA SIMULAÇÃO B	136
	APÊNDICE F – GRÁFICOS DA TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE DA SIMULAÇÃO B..	139
	APÊNDICE G – RESULTADOS MÉDIOS DOS VALORES MEDIDOS E SIMULADOS DA SIMULAÇÃO B	142
	APÊNDICE H – GRÁFICOS DA TEMPERATURA DO AR DA SIMULAÇÃO C.....	144
	APÊNDICE I – GRÁFICOS DA UMIDADE RELATIVA DO AR DA SIMULAÇÃO C	147
	APÊNDICE J – GRÁFICOS DA TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE DA SIMULAÇÃO C...	150
	APÊNDICE L – RESULTADOS MÉDIOS DOS VALORES MEDIDOS E SIMULADOS DA SIMULAÇÃO C	153
	APÊNDICE M – GRÁFICOS DA TEMPERATURA DO AR DA SIMULAÇÃO D.....	155
	APÊNDICE N – GRÁFICOS DA UMIDADE RELATIVA DO AR DA SIMULAÇÃO D.....	157
	APÊNDICE O – GRÁFICOS DA TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE DA SIMULAÇÃO D.	160
	APÊNDICE P – RESULTADOS MÉDIOS DOS VALORES MEDIDOS E SIMULADOS DA SIMULAÇÃO D	163
	APÊNDICE Q – GRÁFICOS DA TEMPERATURA DO AR DA SIMULAÇÃO E	165
	APÊNDICE R – GRÁFICOS DA UMIDADE RELATIVA DO AR DA SIMULAÇÃO E	168
	APÊNDICE S – GRÁFICOS DA TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE DA SIMULAÇÃO E..	171
	APÊNDICE T – RESULTADOS MÉDIOS DOS VALORES MEDIDOS E SIMULADOS DA SIMULAÇÃO E.....	174
	APÊNDICE U – RESULTADOS MÉDIOS DOS VALORES MEDIDOS E SIMULADOS DA SIMULAÇÃO F.....	176
	APÊNDICE V – TOTAL DAS HORAS EM CONFORTO HIGROTÉRMICO DA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFV SEGUNDO AS NORMAS	178
	APÊNDICE X – TOTAL DAS HORAS EM CONFORTO PARA O MATERIAL BIBLIOTECÁRIO DA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFV	182
	ANEXO A – PLANTAS BAIXAS DA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFV	183

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – LOCALIZAÇÃO DA BIBLIOTECA CENTRAL NO CAMPUS DA UFV	6
FIGURA 2.2 – BIBLIOTECA CENTRAL DA UFV.....	7
FIGURA 2.3 – PLANTA BAIXA ESQUEMÁTICA DO PAVIMENTO TÉRREO.....	7
FIGURA 2.4 – SETOR DE REFERÊNCIA, NO TÉRREO.....	8
FIGURA 2.5 – SALA DE RESERVA, NO TÉRREO.....	8
FIGURA 2.6 – VISTA DA SALA DE ESTUDOS 2° GRAU, NO TÉRREO	8
FIGURA 2.7 – SALA DE ESTUDOS 2° GRAU, NO TÉRREO	8
FIGURA 2.8 – PLANTA BAIXA ESQUEMÁTICA DO PRIMEIRO PAVIMENTO	9
FIGURA 2.9 – VISTA DAS SALAS DE ESTUDOS INDIVIDUAIS, PRIMEIRO PAVIMENTO	9
FIGURA 2.10 – SALA DE ESTUDOS EM GRUPO, PRIMEIRO PAVIMENTO	9
FIGURA 2.11 – PLANTA BAIXA ESQUEMÁTICA DO SEGUNDO PAVIMENTO	10
FIGURA 2.12 – ÁREA PARA ESTUDOS EM GRUPO, SEGUNDO PAVIMENTO	10
FIGURA 2.13 – ÁREA PARA ESTUDOS INDIVIDUAIS, SEGUNDO PAVIMENTO.....	10
FIGURA 2.14 – VISTA DO ACERVO DO SEGUNDO E TERCEIRO PAVIMENTOS	10
FIGURA 2.15 – PLANTA BAIXA ESQUEMÁTICA DO TERCEIRO PAVIMENTO.....	11
FIGURA 2.16 – ÁREA DESTINADA A ESTUDO EM GRUPO, TERCEIRO PAVIMENTO.....	11
FIGURA 2.17 – TEMPERATURAS DE BULBO SECO MÍNIMAS, MÉDIAS E MÁXIMAS DIÁRIAS, DE VIÇOSA/MG, RELACIONADAS AOS LIMITES DE CONFORTO DE GIVONI	12
FIGURA 2.18 – FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DAS HORAS EM QUE A TEMPERATURA DE BULBO SECO ESTÁ FORA DA ZONA DE CONFORTO DE GIVONI EM VIÇOSA/MG	12
FIGURA 2.19 – UMIDADE RELATIVA MÍNIMAS, MÉDIAS E MÁXIMAS DIÁRIAS, RELACIONADAS AOS LIMITES DE CONFORTO DE GIVONI	13
FIGURA 2.20 – FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DAS HORAS EM QUE A UMIDADE RELATIVA ESTÁ FORA DOS LIMITES DE CONFORTO DE GIVONI EM VIÇOSA/MG.....	13
FIGURA 2.21 – MÉDIAS MENSAIS DOS TOTAIS DIÁRIOS DE RADIAÇÃO GLOBAL.....	14
FIGURA 2.22 – DISTRIBUIÇÃO MENSAL DAS CHUVAS	14
FIGURA 2.23 – MÉDIAS SAZONAIS DOS TOTAIS DIÁRIOS DE PRECIPITAÇÃO	14
FIGURA 2.24 – FREQUÊNCIA DOS DADOS DE DIREÇÃO DO VENTO DURANTE TODO O DIA..	15
FIGURA 2.25 – FREQUÊNCIA DOS DADOS DE DIREÇÃO DO VENTO NO PERÍODO DA TARDE	15
FIGURA 2.26 – FREQUÊNCIA DOS DADOS DE DIREÇÃO DO VENTO NO PERÍODO NOTURNO.	15
FIGURA 2.27 – CARTA BIOCLIMÁTICA DE GIVONI COM TMY DE VIÇOSA	16
FIGURA 3.1 – ZONA DE CONFORTO EM EDIFÍCIOS COM VENTILAÇÃO NATURAL	20
FIGURA 3.2 – AS TRÊS CATEGORIAS DE CONFORTO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA OPERATIVA INTERNA E A TEMPERATURA MÉDIA DO AR EXTERNO.....	21
FIGURA 3.3 – ZONA DE CONFORTO HUMANO COMPARADA À ZONA DE ADEQUAÇÃO AMBIENTAL DA COLEÇÃO	24
FIGURA 3.4 – VALORES DE C_p EXPRESSOS EM IMAGENS DE ACORDO COM O WIND PRESSURE DATABASE	28
FIGURA 4.1 – EXEMPLIFICAÇÃO DA MALHA UTILIZADA PARA MEDIÇÃO DOS AMBIENTES – SALA DE OBRAS RARAS	41
FIGURA 4.2 – EXEMPLO DAS MALHAS UTILIZADAS PARA AS ÁREAS DE ACERVO – ACERVO DE LIVROS 2° PAVIMENTO.....	42
FIGURA 4.3 – PROTÓTIPO 1: ZONA 1 COM ALTURA DO PISO ATÉ O FORRO, DE 3,5M, E A ZONA 2 COM ALTURA DO FORRO ATÉ A LAJE, DE 1,5M.....	47
FIGURA 4.4 – PROTÓTIPO 2: UMA ZONA TÉRMICA COM PÉ-DIREITO TOTAL DE 5M	47
FIGURA 4.5 – PROTÓTIPO 3: UMA ZONA TÉRMICA COM PÉ-DIREITO TOTAL DE 3,5M	48

FIGURA 4.6 – PROTÓTIPO 1: A PRIMEIRA ZONA COM ALTURA DO PISO ATÉ O FORRO, DE 5M, E A OUTRA COM ALTURA DO FORRO ATÉ A LAJE, DE 1,5M.....	49
FIGURA 4.7 – PROTÓTIPO 2: UMA ZONA TÉRMICA COM PÉ-DIREITO TOTAL DE 6,5M	49
FIGURA 4.8 – PROTÓTIPO 3: UMA ZONA TÉRMICA COM PÉ-DIREITO TOTAL DE 5M	49
FIGURA 4.9 – PROTÓTIPO 1	50
FIGURA 4.10 – PROTÓTIPO 2	50
FIGURA 4.11 – PROTÓTIPO 3	50
FIGURA 4.12 – PROTÓTIPO 4	50
FIGURA 4.13 – PROTÓTIPO 5	51
FIGURA 4.14 – PROTÓTIPO 6	51
FIGURA 4.15 – PROTÓTIPO 7	51
FIGURA 4.16 – PROTÓTIPO 8	51
FIGURA 4.17 – PROTÓTIPO 9	51
FIGURA 4.18 – PROTÓTIPO 10	51
FIGURA 4.19 – PROTÓTIPO 11	51
FIGURA 4.20 – PROTÓTIPO 1: DUAS ZONAS TÉRMICAS E TODOS OS VOLUMES DAS FACHADAS DA EDIFICAÇÃO	54
FIGURA 4.21 – PROTÓTIPO 2: DUAS ZONAS TÉRMICAS SEM OS VOLUMES DAS FACHADAS, SENDO O LIMITE EXTERNO DAS PAREDES DOS VOLUMES CONSIDERADO PARA MODELAGEM	54
FIGURA 4.22 – PROTÓTIPO 3: DUAS ZONAS TÉRMICAS SEM OS VOLUMES DAS FACHADAS, SENDO O LIMITE INTERNO DAS PAREDES DOS VOLUMES CONSIDERADO PARA MODELAGEM	54
FIGURA 4.23 – EDIFÍCIO REAL MODELADO. FACHADA PRINCIPAL, VISTA SO	56
FIGURA 4.24 – EDIFÍCIO REAL MODELADO. FACHADA LATERAL DIREITA, VISTA SE	56
FIGURA 4.25 – EDIFÍCIO REAL MODELADO. VISTA DA FACHADA PRINCIPAL E LATERAL ESQUERDA (VISTA NO)	57
FIGURA 4.26 – EDIFÍCIO REAL MODELADO. VISTA DA FACHADA LATERAL DIREITA E POSTERIOR (VISTA NE).....	57
FIGURA 4.27 – ESCALA COM OS NÍVEIS DE CONFORTO HIGROTÉRMICO ADOTADA.....	69
FIGURA 5.1 – RELAÇÃO ENTRE TERMÔMETRO DE COBRE ORIGINAL E DIGITAL.....	70
FIGURA 5.2 – RELAÇÃO ENTRE TERMÔMETRO DE COBRE ORIGINAL E DE PLÁSTICO	71
FIGURA 5.3 – GANHOS TÉRMICOS DO PROTÓTIPO 1 EM W/M^2	73
FIGURA 5.4 – GANHOS TÉRMICOS DO PROTÓTIPO 2 EM W/M^2	73
FIGURA 5.5 – GANHOS TÉRMICOS DO PROTÓTIPO 3 EM W/M^2	73
FIGURA 5.6 – GRÁFICO DE LINHAS DE CADA PROTÓTIPO EM FUNÇÃO DA CARGA TÉRMICA EM KW/M^2 POR MÊS.....	74
FIGURA 5.7 – RELAÇÃO ENTRE OS PROTÓTIPOS 1 E 2	75
FIGURA 5.8 – CONSUMO ENERGÉTICO DO PROTÓTIPO 1 EM KWH	76
FIGURA 5.9 – CONSUMO ENERGÉTICO DO PROTÓTIPO 2 EM KWH	77
FIGURA 5.10 – CONSUMO ENERGÉTICO DO PROTÓTIPO 3 EM KWH	77
FIGURA 5.11 – GRÁFICO DE LINHAS DE CADA PROTÓTIPO EM FUNÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO EM KWH POR MÊS	78
FIGURA 5.12 – RELAÇÃO ENTRE OS PROTÓTIPOS 1 E 3	79
FIGURA 5.13 – GANHOS TÉRMICOS DO PROTÓTIPO 1 EM W/M^2	80
FIGURA 5.14 – GANHOS TÉRMICOS DO PROTÓTIPO 2 EM W/M^2	80
FIGURA 5.15 – GANHOS TÉRMICOS DO PROTÓTIPO 3 EM W/M^2	81
FIGURA 5.16 – GRÁFICO DE LINHAS DOS PROTÓTIPOS EM KW/M^2 POR MÊS	82
FIGURA 5.17 – RELAÇÃO ENTRE OS PROTÓTIPOS 1 E 3	83
FIGURA 5.18 – CONSUMO ENERGÉTICO DO PROTÓTIPO 1 EM KWH	84

FIGURA 5.19 – CONSUMO ENERGÉTICO DO PROTÓTIPO 3 EM KWH	84
FIGURA 5.20 – CONSUMO ENERGÉTICO DO PROTÓTIPO 3 EM KWH	84
FIGURA 5.21 – GRÁFICO DE LINHAS DOS PROTÓTIPOS EM KWH POR MÊS	85
FIGURA 5.22 – GANHOS TÉRMICOS DO PROTÓTIPO 1 EM W/M ²	87
FIGURA 5.23 – GANHOS TÉRMICOS DO PROTÓTIPO 7 EM W/M ²	87
FIGURA 5.24 – GANHOS TÉRMICOS DO PROTÓTIPO 11 EM W/M ²	87
FIGURA 5.25 – GRÁFICO DE LINHAS DOS PROTÓTIPOS EM FUNÇÃO DA CARGA TÉRMICA, KW/M ² , POR MÊS	88
FIGURA 5.26 – RELAÇÃO ENTRE OS PROTÓTIPOS 1 E 7	89
FIGURA 5.27 – RELAÇÃO ENTRE PROTÓTIPOS 1 E 8	90
FIGURA 5.28 – RELAÇÃO ENTRE OS PROTÓTIPOS 1 E 7	91
FIGURA 5.29 – CONSUMO ENERGÉTICO DO PROTÓTIPO 1 EM KWH	91
FIGURA 5.30 – CONSUMO ENERGÉTICO DO PROTÓTIPO 4 EM KWH	92
FIGURA 5.31 – CONSUMO ENERGÉTICO DO PROTÓTIPO 7 EM KWH	92
FIGURA 5.32 – GRÁFICO DE LINHAS DOS PROTÓTIPOS EM KWH POR MÊS	93
FIGURA 5.33 – RELAÇÃO ENTRE OS PROTÓTIPOS 1 E 2	94
FIGURA 5.34 – RELAÇÃO ENTRE OS PROTÓTIPOS 1 E 3	95
FIGURA 5.35 – GANHOS TÉRMICOS DO PROTÓTIPO 1 EM W/M ²	95
FIGURA 5.36 – GANHOS TÉRMICOS DO PROTÓTIPO 2 EM W/M ²	96
FIGURA 5.37 – GANHOS TÉRMICOS DO PROTÓTIPO 3 EM W/M ²	96
FIGURA 5.38 – GRÁFICO DE LINHAS DOS PROTÓTIPOS EM FUNÇÃO DOS GANHOS TÉRMICOS EM KW/M ² , POR MÊS	97
FIGURA 5.39 – RELAÇÃO ENTRE OS PROTÓTIPOS 1 E 2	99
FIGURA 5.40 – CONSUMO ENERGÉTICO DO PROTÓTIPO 1 EM KWH	99
FIGURA 5.41 – CONSUMO ENERGÉTICO DO PROTÓTIPO 2 EM KWH	99
FIGURA 5.42 – CONSUMO ENERGÉTICO DO PROTÓTIPO 3 EM KWH	100
FIGURA 5.43 – GRÁFICO DE LINHAS DOS PROTÓTIPOS EM FUNÇÃO DO CONSUMO EM KWH, POR MÊS	101
FIGURA 5.44 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA DO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO A	102
FIGURA 5.45 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO A	102
FIGURA 5.46 – TEMPERATURA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO B	103
FIGURA 5.47 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO B	104
FIGURA 5.48 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO C	105
FIGURA 5.49 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO C	105
FIGURA 5.50 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO D	106
FIGURA 5.51 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO D	106
FIGURA 5.52 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO D	107
FIGURA 5.53 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO D	108
FIGURA 5.54 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO E	109

FIGURA 5.55 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO F	109
FIGURA 5.56 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PAVIMENTO TÉRREO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004	112
FIGURA 5.57 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PAVIMENTO TÉRREO PARA A EN 15.251:2007.....	112
FIGURA 5.58 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PRIMEIRO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004	112
FIGURA 5.59 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PRIMEIRO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007.....	112
FIGURA 5.60 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO SEGUNDO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004	112
FIGURA 5.61 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO SEGUNDO PAVIMENTO PARA A EN 15.251	112
FIGURA 5.62 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO TERCEIRO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004.....	112
FIGURA 5.63 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO SEGUNDO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007.....	112
FIGURA 5.64 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO PAVIMENTO TÉRREO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004.....	113
FIGURA 5.65 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO PAVIMENTO TÉRREO PARA A EN 15.251:2007	113
FIGURA 5.66 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO PRIMEIRO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004.....	113
FIGURA 5.67 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO PRIMEIRO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007	113
FIGURA 5.68 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO SEGUNDO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004.....	113
FIGURA 5.69 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO SEGUNDO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007	113
FIGURA 5.70 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO TERCEIRO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004.....	113
FIGURA 5.71 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO TERCEIRO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007	113
FIGURA 5.72 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PAVIMENTO TÉRREO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004	114
FIGURA 5.73 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PAVIMENTO TÉRREO PARA A EN 15.251:2007.....	114
FIGURA 5.74 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PRIMEIRO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004	114
FIGURA 5.75 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PRIMEIRO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007.....	114
FIGURA 5.76 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO SEGUNDO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004	114
FIGURA 5.77 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO SEGUNDO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007.....	114
FIGURA 5.78 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO TERCEIRO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004.....	114
FIGURA 5.79 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO TERCEIRO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007	114

FIGURA 5.80 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO PAVIMENTO TÉRREO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004.....	115
FIGURA 5.81 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO PAVIMENTO TÉRREO PARA A EN 15.251:2007	115
FIGURA 5.82 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO PRIMEIRO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004.....	115
FIGURA 5.83 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO PRIMEIRO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007	115
FIGURA 5.84 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO SEGUNDO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004.....	115
FIGURA 5.85 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO SEGUNDO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007	115
FIGURA 5.86 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO TERCEIRO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004.....	115
FIGURA 5.87 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO TERCEIRO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007	115
FIGURA 5.88 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PAVIMENTO TÉRREO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004.....	116
FIGURA 5.89 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PAVIMENTO TÉRREO PARA A EN 15.251:2007.....	116
FIGURA 5.90 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PRIMEIRO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004	116
FIGURA 5.91 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PRIMEIRO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007.....	116
FIGURA 5.92 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO SEGUNDO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55	116
FIGURA 5.93 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO SEGUNDO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007.....	116
FIGURA 5.94 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO TERCEIRO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004.....	116
FIGURA 5.95 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO TERCEIRO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007	116
FIGURA 5.96 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO INVERNO, DO PAVIMENTO TÉRREO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004.....	117
FIGURA 5.97 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PAVIMENTO TÉRREO PARA A EN 15.251:2007.....	117
FIGURA 5.98 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PRIMEIRO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004	117
FIGURA 5.99 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO PRIMEIRO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007.....	117
FIGURA 5.100 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO SEGUNDO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004	117
FIGURA 5.101 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO SEGUNDO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007.....	117
FIGURA 5.102 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO TERCEIRO PAVIMENTO PARA A ASHRAE STANDARD 55:2004.....	117
FIGURA 5.103 – NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS AMBIENTES COM VENTILAÇÃO NATURAL, NO VERÃO, DO TERCEIRO PAVIMENTO PARA A EN 15.251:2007	117
FIGURA 5.104 – NÍVEL DE ADEQUAÇÃO AMBIENTAL PARA O MATERIAL BIBLIOTECÁRIO, DO PAVIMENTO TÉRREO.....	118

FIGURA 5.105 – NÍVEL DE ADEQUAÇÃO AMBIENTAL PARA O MATERIAL BIBLIOTECÁRIO, DO PRIMEIRO PAVIMENTO.....	118
FIGURA 5.106 – NÍVEL DE ADEQUAÇÃO AMBIENTAL PARA O MATERIAL BIBLIOTECÁRIO, DO SEGUNDO PAVIMENTO.....	118
FIGURA 5.107 – NÍVEL DE ADEQUAÇÃO AMBIENTAL PARA O MATERIAL BIBLIOTECÁRIO, DO TERCEIRO PAVIMENTO	118
FIGURA A.1 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO A.....	129
FIGURA A.2 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO A	129
FIGURA A.3 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO A	129
FIGURA B.1 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO A.....	130
FIGURA B.2 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO A.....	130
FIGURA B.3 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO A.....	131
FIGURA B.4 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO A.....	131
FIGURA C.1 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO A.....	132
FIGURA C.2 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO A	132
FIGURA C.3 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO A	132
FIGURA D.1 – TEMPERATURA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO B	133
FIGURA D.2 – TEMPERATURA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO B	133
FIGURA D.3 – TEMPERATURA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO B	133
FIGURA D.4 – TEMPERATURA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO B	134
FIGURA D.5 – TEMPERATURA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO B	134
FIGURA D.6 – TEMPERATURA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO B	135
FIGURA D.7 – TEMPERATURA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO B	135
FIGURA E.1 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO B	136
FIGURA E.2 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO B	136
FIGURA E.3 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO B	136
FIGURA E.4 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO B	137
FIGURA E.5 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO B.....	137

FIGURA E.6 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO B.....	137
FIGURA E.7 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO B.....	138
FIGURA E.8 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO B.....	138
FIGURA F.1 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO B.....	139
FIGURA F.2 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO B.....	139
FIGURA F.3 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO B.....	139
FIGURA F.4 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO B.....	140
FIGURA F.5 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO B.....	140
FIGURA F.6 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO B.....	141
FIGURA F.7 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO B.....	141
FIGURA H.1 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO C.....	144
FIGURA H.2 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO C.....	144
FIGURA H.3 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO C.....	144
FIGURA H.4 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO C.....	145
FIGURA H.5 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO C.....	145
FIGURA H.6 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO C.....	145
FIGURA H.7 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO C.....	146
FIGURA H.8 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO C.....	146
FIGURA I.1 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO C.....	147
FIGURA I.2 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO C.....	147
FIGURA I.3 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO C.....	147
FIGURA I.4 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO C.....	148
FIGURA I.5 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO C.....	148
FIGURA I.6 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO C.....	149
FIGURA I.7 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO C.....	149

FIGURA J.1 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO C.....	150
FIGURA J.2 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO C.....	150
FIGURA J.3 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO C.....	150
FIGURA J.4 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO C.....	151
FIGURA J.5 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO C.....	151
FIGURA J.6 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO C.....	152
FIGURA J.7 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO C.....	152
FIGURA M.1 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO D.....	155
FIGURA M.2 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO D.....	155
FIGURA M.3 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO D.....	155
FIGURA M.4 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO D.....	156
FIGURA M.5 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO D.....	156
FIGURA M.6 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO D.....	156
FIGURA N.1 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO D.....	157
FIGURA N.2 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO D.....	157
FIGURA N.3 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO D.....	157
FIGURA N.4 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO D.....	158
FIGURA N.5 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO D.....	158
FIGURA N.6 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO D.....	159
FIGURA N.7 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO D.....	159
FIGURA O.1 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO D.....	160
FIGURA O.2 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO D.....	160
FIGURA O.3 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO D.....	160
FIGURA O.4 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO D.....	161
FIGURA O.5 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO D.....	161

FIGURA O.6 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO D	162
FIGURA O.7 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO D	162
FIGURA Q.1 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO E	165
FIGURA Q.2 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO E.....	165
FIGURA Q.3 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO E.....	165
FIGURA Q.4 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO E.....	166
FIGURA Q.5 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO E	166
FIGURA Q.6 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO E	166
FIGURA Q.7 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO E	167
FIGURA Q.8 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO E	167
FIGURA R.1 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO E.....	168
FIGURA R.2 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO E	168
FIGURA R.3 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO E	168
FIGURA R.4 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO E	169
FIGURA R.5 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO E	169
FIGURA R.6 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO E	169
FIGURA R.7 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO E	170
FIGURA R.8 – UMIDADE RELATIVA DO AR MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO E	170
FIGURA S.1 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO E	171
FIGURA S.2 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO E.....	171
FIGURA S.3 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO VERÃO PARA A SIMULAÇÃO E.....	171
FIGURA S.4 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PAVIMENTO TÉRREO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO E.....	172
FIGURA S.5 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO PRIMEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO E	172
FIGURA S.6 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO SEGUNDO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO E	173
FIGURA S.7 – TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE MEDIDA E SIMULADA NO TERCEIRO PAVIMENTO, NO INVERNO PARA A SIMULAÇÃO E	173

LISTA DE TABELAS E QUADROS

QUADRO 2.1 – RELATÓRIO COM AS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS DE VIÇOSA	16
TABELA 3.1 – PERCENTUAL DE HORAS OCUPADAS EM CONFORTO.....	18
TABELA 3.2 – FAIXA DE TEMPERATURA OPERATIVA DE ACORDO COM A ESTAÇÃO DO ANO OU VESTIMENTA	19
TABELA 3.3 – FAIXAS DE TEMPERATURA INDICADAS PARA EDIFÍCIOS EDUCACIONAIS	22
TABELA 3.4 – TAXAS DE UMIDADE RELATIVA PARA SISTEMAS RECOMENDADAS PARA PROJETO	22
TABELA 3.5 – VALORES DE A EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE RELATIVA DE AR (M/S).....	23
TABELA 3.6 – COEFICIENTES E EXPOENTES DE FLUXO DE AR POR FRESTAS DE JANELAS... 29	29
TABELA 3.7 – COEFICIENTES E EXPOENTES DE FLUXO DE AR POR FRESTAS DE PORTAS	30
TABELA 4.1 – ÉPOCAS DO ANO, DIAS E HORÁRIOS DAS MEDIÇÕES REALIZADAS POR PAVIMENTO	40
TABELA 4.2 – TIPOS DE TESTES E NUMERAÇÃO	44
TABELA 4.3 – CARACTERÍSTICA DOS MATERIAIS UTILIZADOS NOS CASOS	44
TABELA 4.4 – CÁLCULO DA RAZÃO ENTRE A ÁREA DE FACHADA EXTERNA E O VOLUME POR PROTÓTIPO	52
TABELA 4.5 – CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS NOS CASOS	58
TABELA 4.6 – EQUIPAMENTOS E POTÊNCIA UTILIZADOS	58
TABELA 4.7 – EQUIPAMENTOS E POTÊNCIA UTILIZADOS POR ZONA TÉRMICA	59
TABELA 4.8 – POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO UTILIZADA POR ZONA TÉRMICA.....	60
TABELA 4.9 – MÉDIAS DE PESSOAS POR ÉPOCA DE MEDIÇÃO E QUANTIDADE UTILIZADA NO MODELO	61
TABELA 4.10 – HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DA EDIFICAÇÃO POR TIPO DE USO E AMBIENTE	62
TABELA 4.11 – COEFICIENTES E EXPOENTES DE FLUXO DE AR POR FRESTAS UTILIZADOS	64
TABELA 4.12 – QUANTIDADE DE PESSOAS ALTERADAS POR ZONA TÉRMICA	65
TABELA 4.13 – SIMULAÇÕES REALIZADAS PARA A VALIDAÇÃO DO MODELO	66
TABELA 5.1 – RESULTADO DO TESTE DE DUNNET DA ANOVA	72
TABELA 5.2 – RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO DOS PROTÓTIPOS 1 E 2.....	72
TABELA 5.3 – RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO DOS PROTÓTIPOS 1 E 3.....	72
TABELA 5.4 – GANHOS TÉRMICOS DOS PROTÓTIPOS COM DIFERENTES ALTURAS DE PÉ- DIREITO (kW/M ²)	74
TABELA 5.5 – RESULTADO DO TESTE DE DUNNET DA ANOVA	75
TABELA 5.6 – RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO DOS PROTÓTIPOS 1 E 2.....	76
TABELA 5.7 – RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO DOS PROTÓTIPOS 1 E 3.....	76
TABELA 5.8 – CONSUMO ENERGÉTICO DOS PROTÓTIPOS COM DIFERENTES ALTURAS DE PÉ- DIREITO (kWh)	78
TABELA 5.9 – RESULTADO DO TESTE DE DUNNET DA ANOVA	80
TABELA 5.10 – RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO DOS PROTÓTIPOS 1 COM 2.....	80
TABELA 5.11 – GANHOS TÉRMICOS DOS PROTÓTIPOS COM AUMENTO DO PÉ-DIREITO TOTAL EM kW/M ²	81
TABELA 5.12 – RESULTADO DO TESTE DE DUNNET DA ANOVA	83

TABELA 5.13 – RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO DOS PROTÓTIPOS 1 E 2.....	83
TABELA 5.14 – RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO DOS PROTÓTIPOS 1 E 3.....	83
TABELA 5.15 – CONSUMO ENERGÉTICO DOS PROTÓTIPOS COM AUMENTO NA ALTURA DO PÉ-DIREITO (KWH).....	85
TABELA 5.16 – RESULTADO DO TESTE DE DUNNET DA ANOVA.....	86
TABELA 5.17 – RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO COM OS PROTÓTIPOS 1 E 7.....	86
TABELA 5.18 – MÉDIA DOS GANHOS TÉRMICOS POR PROTÓTIPO (KW/M ²).....	88
TABELA 5.19 – RESULTADO DO TESTE DE DUNNET DA ANOVA.....	89
TABELA 5.20 – RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO COM OS PROTÓTIPOS 1 E 7.....	90
TABELA 5.21 – RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO COM OS PROTÓTIPOS 1 E 8.....	90
TABELA 5.22 – MÉDIA DO CONSUMO ENERGÉTICO POR PROTÓTIPO (KWH).....	92
TABELA 5.23 – RESULTADO DO TESTE DE DUNNET DA ANOVA.....	93
TABELA 5.24 – RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO DOS PROTÓTIPOS 1 E 2.....	94
TABELA 5.25 – RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO DOS PROTÓTIPOS 1 E 3.....	94
TABELA 5.26 – GANHOS TÉRMICOS DOS PROTÓTIPOS EM SALA DA BIBLIOTECA (KW/M ²).....	97
TABELA 5.27 – RESULTADO DO TESTE DE DUNNET DA ANOVA.....	98
TABELA 5.28 – RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO DOS PROTÓTIPOS 1 E 2.....	98
TABELA 5.29 – RESULTADO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO DOS PROTÓTIPOS 1 E 3.....	98
TABELA 5.30 – CONSUMO ENERGÉTICO DOS PROTÓTIPOS DA SALA DA BIBLIOTECA (KWH).....	100
TABELA G.1 – VALORES MÉDIOS DOS DADOS MEDIDOS E SIMULADOS E A DIFERENÇA ENTRE ELES POR AMBIENTE NO VERÃO.....	142
TABELA G.2 – VALORES MÉDIOS DOS DADOS MEDIDOS E SIMULADOS E A DIFERENÇA ENTRE ELES POR AMBIENTE NO INVERNO.....	143
TABELA L.1 – VALORES MÉDIOS DOS DADOS MEDIDOS E SIMULADOS E A DIFERENÇA ENTRE ELES POR AMBIENTE NO VERÃO.....	153
TABELA L.2 – VALORES MÉDIOS DOS DADOS MEDIDOS E SIMULADOS E A DIFERENÇA ENTRE ELES POR AMBIENTE PARA O INVERNO.....	154
TABELA P.1 – VALORES MÉDIOS DOS DADOS MEDIDOS E SIMULADOS E A DIFERENÇA ENTRE ELES POR AMBIENTE PARA O VERÃO E INVERNO.....	163
TABELA P.2 – VALORES MÉDIOS DOS DADOS MEDIDOS E SIMULADOS E A DIFERENÇA ENTRE ELES POR AMBIENTE PARA O VERÃO E INVERNO.....	164
TABELA T.1 – VALORES MÉDIOS DOS DADOS MEDIDOS E SIMULADOS E A DIFERENÇA ENTRE ELES POR AMBIENTE PARA O VERÃO.....	174
TABELA T.2 – VALORES MÉDIOS DOS DADOS MEDIDOS E SIMULADOS E A DIFERENÇA ENTRE ELES POR AMBIENTE, PARA O INVERNO.....	175
TABELA U.1 – VALORES MÉDIOS DOS DADOS MEDIDOS E SIMULADOS E A DIFERENÇA ENTRE ELES POR AMBIENTE, NO VERÃO.....	176
TABELA U.2 – VALORES MÉDIOS DOS DADOS MEDIDOS E SIMULADOS E A DIFERENÇA ENTRE ELES POR AMBIENTE, NO INVERNO.....	177

TABELA V.1 – TOTAL DE HORAS DE CONFORTO NO VERÃO E INVERNO, NO PAVIMENTO TÉRREO, POR AMBIENTE, SEGUNDO AS NORMAS	178
TABELA V.2 – TOTAL DE HORAS DE CONFORTO NO VERÃO E INVERNO, NO PRIMEIRO E SEGUNDO PAVIMENTOS, POR AMBIENTE, SEGUNDO AS NORMAS	180
TABELA V.3 – TOTAL DE HORAS DE CONFORTO NO VERÃO E INVERNO, NO TERCEIRO PAVIMENTO, POR AMBIENTE, SEGUNDO AS NORMAS	181
TABELA X.1 – TOTAL DE HORAS DE CONFORTO PARA MATERIAL BIBLIOTECÁRIO, NO VERÃO E INVERNO, NA EDIFICAÇÃO.....	182

RESUMO

VALADÃO, Júlia Barros, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2011. **Avaliação do conforto térmico de uma biblioteca universitária pela ASHRAE Standard 55 e EN 15251.** Orientador: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá. Co-orientadores: José Luiz Rangel Paes e Joyce Correna Carlo.

Desde a crise de energia de 2001, o Brasil busca racionalizar o seu consumo energético, utilizando, como um dos instrumentos para atingir essa finalidade, a criação de níveis mínimos de eficiência energética. Esse processo, iniciado com os eletrodomésticos, galgou novo patamar ao incluir as edificações no Programa Brasileiro de Etiquetagem, em 2009, conforme se verifica pelo Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais de Serviços e Públicos (RTQ-C). Embora o RTQ-C permita que se mensure o nível de eficiência das edificações, não garante os índices de conforto higrotérmico, já que silente nesse aspecto, mantendo-se, assim, a tradição nacional de inexistência de regulamentação nessa matéria. Partindo desses fatos, o presente estudo objetivou comparar os níveis de conforto higrotérmico entre as normas ANSI/ASHRAE *Standard 55* e EN 15251, tendo como estudo de caso a Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa-MG, apontando as diferenças entre os seus resultados. A pesquisa foi realizada em quatro etapas principais: a realização de medições *in loco* da edificação em três épocas do ano, para coleta das condições higrotérmicas de verão, outono e inverno; a realização dos testes pré-modelagem, em que se verificou a possibilidade de simplificação da modelagem da biblioteca para manter, na simulação, condições higrotérmicas semelhantes ao edifício real; a validação do modelo mediante simulações em que se alteraram parâmetros no arquétipo referência, comparando-se os dados de saída aos medidos no local, de forma a se aproximar das manifestações ambientais encontradas no edifício real; e, finalmente, definição de uma escala de níveis de conforto térmico, o que viabilizou a comparação entre as normas. Como principais resultados obtidos, tem-se: a) não ocorrência, no edifício analisado, de ambientes em condições que satisfazem as necessidades humanas de conforto higrotérmico e as de conservação do acervo bibliográfico; b) constatação da possibilidade de uso, no Brasil, da escala de conforto proposta para avaliação das edificações, existente na EN 15251, pois, por ser mais restritiva, viabilizaria a melhoria da qualidade das construções neste aspecto.

ABSTRACT

VALADÃO, Júlia Barros, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2011. **Analysis of the thermal ambience of the universitarian library by ASHRAE Standard 55 and EN 15251.** Advisor: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá. Co-Advisors: José Luiz Rangel Paes and Joyce Correna Carlo.

Since 2001 energy crisis, Brazil searches to rationalize its energetic usage, one of the objects used to reach this goal is the creation of minimum level of energetic efficiency. This process, first initiated in 2009 with electric appliances, has reached a new status when included buildings in the Programa Brasileiro de Etiquetagem (Brazilian Tagging Program), as can be verified in Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais de Serviços Públicos [Technical Norm of Energetic Efficiency Level in Commercial, Services and Public Buildings] (RTQ-C). Although RTQ-C allows the measurement of efficiency levels in buildings, it does not guarantee the hygrothermal comfort levels, because it remains silent about this subject, thus maintaining the national tradition of inexistent norms in this area. Beginning with the exposed facts, this study objectives were to compare hygrothermal comfort levels between ANSI/ASHRAE Standard 55, ISO 7730 and 15251 norms, through a case study using the Biblioteca Central of Universidade Federal de Viçosa-MG, pointing out the differences in those norms. The research was performed in four different stages: in loco measurements of the building in three separate seasons of the year, in order to collect hygrothermal conditions in summer, autumn and winter; the pre-modeling tests, which verified the possibility of simplification of the library modeling in order to keep, while in simulation, hygrothermal conditions similar to those in the real building; the validation of the model through simulations, which had alterations in parameters of the reference archetype, comparing the existing data to the ones measured in the place in a way to approach environmental manifestation found in the real building; at last it was defined a level scale of thermal comfort, that made possible the comparison between the different norms. The main results obtained, in this research: a) not occur on the premises considered, the environments in conditions that meet the human needs of comfort and hygrothermal conservation bibliographic b) realization of the possibility of use in Brazil, comfort scale for assessment of proposed buildings, existing in EN 15251, therefore, to be more restrictive would allow the improvement of the quality of buildings in this regard.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

Normalmente, as bibliotecas universitárias, além de serem espaços para guarda, empréstimo e recuperação do acervo, são amplos locais para estudos e leituras. Esses espaços muitas vezes são integrados: não há separação da área destinada ao acervo das outras áreas da edificação. Dessa forma, condições higrotérmicas para as necessárias preservação e durabilidade de seu acervo deve ser um aspecto básico nessa tipologia de edificação e, ao mesmo tempo, para conforto dos usuários. Outro ponto a ser observado refere-se à realização de projetos para esse tipo de edifício em termos de desempenho da sua envoltória para assegurar as condições ambientais necessárias a seu bom funcionamento e uso, de forma a otimizar as cargas térmicas e não deteriorar o acervo.

Isso significa que critérios e requisitos de desempenho higrotérmico de edificações devem ser assegurados de forma a proporcionar bem-estar aos usuários. Quando isso não se verifica, manifesta-se sensação de desconforto causado por frio ou calor. Dependendo do tempo de exposição a esta situação, ocorre estresse térmico, que resulta em irritações, falta de concentração e queda de rendimento do trabalho.

Nos edifícios condicionados artificialmente, torna-se mais fácil prover condições termicamente agradáveis ao usuário por permitirem maior controle da amplitude de temperaturas e umidades diárias, o que não se dá com as edificações naturalmente ventiladas, onde a amplitude térmica é maior, com possibilidades de mudanças internas bruscas, as quais normalmente tendem a ocasionar situações de desconforto para os usuários.

Um edifício condicionado naturalmente também deve apresentar desempenho higrotérmico de forma a assegurar condições de exposição para o conforto dos usuários, particularmente por meio da envoltória (principal responsável pelos ganhos térmicos da edificação), assim como deve ser projetado de modo que o seu sistema de ventilação natural garanta a renovação do ar e a adequação térmica dos ambientes internos, satisfazendo, portanto, as necessidades humanas de conforto higrotérmico e as condições de conservação do acervo bibliográfico. Nesse caso também o que se deve cumprir é a melhoria das condições de qualidade do ar interno e a compensação do desbalanceamento excessivo das cargas térmicas, ou seja, decorrente da envoltória e das atividades na utilização da edificação (equipamentos, sistemas de iluminação e pessoas).

Além disso, há que se considerar, retrospectivamente, que o Brasil, como uma das consequências da crise de energia de 2001, vem buscando a redução do consumo energético nacional, mediante o estabelecimento de níveis mínimos de eficiência energética, descritos em regulamentos, tanto para consumidores quanto para fabricantes de equipamentos elétricos por meio da implementação da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 (BRASIL, 2001a), que prescreve a política nacional de conservação e uso racional de energia, regulamentada pelo Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2001b). Essa regulamentação reforçou o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), em parceria com o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás). O PBE avalia o consumo de energia dos equipamentos elétricos por meio de uma escala gradual e uma ordem decrescente de eficiência energética de “A” a “G”.

A partir de 2009, as edificações foram incluídas no PBE, por meio da publicação do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais de Serviços e Públicos (RTQ-C) (BRASIL, 2009), que avalia as edificações em níveis que vão de “A”, para as mais eficientes, a “E” para as menos. Para que esses níveis de eficiência sejam determinados, são avaliados a envoltória da edificação (as fachadas e a cobertura), o sistema de iluminação e o de condicionamento de ar, por meio do método prescritivo ou por simulação computacional. Além disso, na classificação geral, pode-se adquirir um ponto por bonificações, que consistem na implantação de qualquer outro tipo de sistema que, de alguma forma, reduz a energia utilizada e/ou economiza ou reaproveita água, mas desde que alcance a porcentagem mínima definida pelo regulamento e que isso seja devidamente comprovado.

Após a determinação do nível de eficiência energética da edificação, emite-se a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) que pode ser concedida total ou parcialmente para esses sistemas. A análise da envoltória é obrigatória para se fazer a análise dos outros dois sistemas. O processo é realizado em duas etapas: primeiramente, na fase de projeto, por meio da emissão de uma ENCE temporária, com prazo de validade definido pelo Inmetro. Após a conclusão da obra e emissão do alvará de funcionamento, é realizada a segunda parte, que consiste em observações *in loco* para conferir se a execução ocorreu conforme o projeto. Se não estiver em conformidade, é realizado novo processo de avaliação do nível de eficiência para comprovar se não

houve alteração. Quando a edificação é executada conforme o projeto ou quando não há alteração do nível de eficiência, é emitida a ENCE final da edificação. Quando há mudança no nível de eficiência, o proprietário refaz a parte que foi modificada para expedição da ENCE final com a eficiência da ENCE de projeto, ou é emitida a ENCE com o novo nível.

Embora o RTQ-C permita que o nível de eficiência das edificações seja divulgado e publicado para os projetistas, construtores e usuários, o processo não garante que os índices de conforto higrotérmico necessários para cada tipo de edificação sejam estabelecidos e que a edificação os inclua, já que o referido regulamento não prevê essa possibilidade. Além disso, no médio e longo prazos, o processo irá contribuir para a melhora da qualidade das construções, ao aumentar o nível de exigência das pessoas envolvidas no processo.

Além desse conjunto normativo, existem as normas técnicas que prescrevem critérios e requisitos de desempenho de edificações, dentre elas a NBR 15.220 (ABNT, 2005), que, a partir do zoneamento bioclimático do território brasileiro, define estratégias de projeto, recomendações de índices de desempenho de componentes utilizados e métodos de cálculo desses componentes e materiais. Porém, essa norma foi estabelecida visando à tipologia de habitações de interesse social, o que limita a sua aplicação a outros tipos de edificações. Outra norma instituída foi a NBR 15.575 (ABNT, 2008), para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, que prevê o desempenho térmico dos sistemas integrantes da edificação e abrange outras questões como sistema estrutural, hidrossanitário, coberturas, vedações verticais externas e internas e pisos. Como o RTQ-C, essa norma só prescreve que a edificação deve proporcionar e assegurar o desempenho térmico, mas não especifica condições para que o conforto seja alcançado.

As normas brasileiras mencionadas não definem os índices de conforto higrotérmico interno para os usuários das edificações, sendo necessária a utilização de normas internacionais como: ANSI/ASHRAE *Standard* 55:2004, ISO 7.730:1994 e EN15.251. Considerando-se que a maioria das pesquisas já realizadas refere-se a edifícios condicionados artificialmente e estão relacionadas a locais de frio rigoroso, observa-se que se valem de normas europeias e estadunidenses.

No Brasil, para o caso de edificações de instituições públicas federais, a primeira Instrução Normativa – IN 01/SLTI/MPOG – sobre sustentabilidade e eficiência

energética foi publicada em 19 de janeiro de 2010 (BRASIL, 2010). Essa IN prescreve critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional. A normativa prescreve que os “projetos básicos ou executivos e a execução das obras públicas devem ser elaboradas e executadas visando à economia da manutenção e operacionalização da edificação, a redução do consumo de energia e água, bem como a utilização de tecnologias e materiais que reduzam o impacto ambiental”. Para isso, os órgãos públicos devem se utilizar de normas sobre eficiência energética, como as do Inmetro, da ABNT e da ISO – *International Organization for Standardization* –, já que a referida Instrução Normativa não prescreve como esses objetivos devem ser alcançados. Porém, a mesma Instrução mostra-se limitada ao exigir que somente alguns tipos de tecnologia e materiais sejam utilizados e implantados nas edificações, o que cria limitações ao uso de outros mais recentes e mais eficientes.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Verificar o potencial de quantificação de horas de conforto higrotérmico obtida com as Normas ANSI/ASHRAE *Standard* 55 (2004), EN 15.251:2007, tendo como estudo de caso a Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG.

1.2.2. Objetivos específicos

Realizar avaliações quali-quantitativas nos ambientes internos de uma biblioteca universitária, estudando as variáveis ambientais.

Analisar, a partir de simulação computacional, os níveis de conforto higrotérmico definidos pelo RTQ-C, da referida biblioteca, com ventilação natural, por meio do *software EnergyPlus*.

Avaliar as condições de exposição higrotérmica do acervo da biblioteca.

Verificar a possibilidade de definição de intervalo de conforto humano e que prolongue a duração do acervo bibliotecário.

1.3.Estrutura

Esta dissertação está subdividida em seis capítulos. O primeiro, introdução,

contém o tema estudado e os objetivos. No terceiro capítulo faz-se a descrição do edifício adotado para o estudo de caso, juntamente com a apresentação das principais variáveis climáticas da cidade de Viçosa-MG, necessárias para a avaliação dos resultados desta pesquisa.

O segundo apresenta uma revisão bibliográfica dos principais assuntos que subsidiaram a metodologia adotada e a análise dos resultados alcançados, como parâmetros de conforto para humanos e para a conservação de material bibliotecário (os papéis) e apontamentos sobre a ventilação natural e a simulação computacional no programa *EnergyPlus*.

No capítulo quatro, descreve-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, subdividida em cinco partes: medições higrotérmicas realizadas *in loco*, testes pré-modelagem, modelagem da edificação, validação do modelo computacional e definição dos intervalos e da escala dos níveis de conforto utilizados para análise.

No capítulo cinco, apresentam-se os resultados da pesquisa, acompanhados das análises e discussões.

Finalizando, o capítulo seis contém as considerações finais, as restrições e dificuldades encontradas na realização desta dissertação e as recomendações para trabalhos futuros.

2. DESCRIÇÃO DO OBJETO

Neste capítulo são apresentados: a descrição do edifício utilizado neste estudo de caso, seus horários de funcionamento, as plantas esquemáticas e a descrição do clima de Viçosa/MG, cidade onde o edifício foi construído.

2.1. Descrição do edifício usado como estudo de caso – Biblioteca Central da UFV

O edifício da Biblioteca Central foi construído nos anos 1970 e reformado e ampliado nos anos de 1994-1996. Possui fachadas planas ortogonais, sendo a sua entrada na fachada frontal paralela à avenida principal da UFV e a entrada secundária na lateral direita da edificação (Figura 2.1) protegida por uma marquise que a interliga o edifício ao do Centro de Ensino de Extensão (CEE); no seu lado esquerdo, encontram-se as casas de máquinas e de alta-tensão e os depósitos para descarte de materiais

O edifício possui volumetria principal em forma de prisma retangular e é ventilado naturalmente. Possui quatro pavimentos subdivididos de acordo com o tipo de usuário: funcionários e público. As plantas possuem forma retangular, com átrio central coberto, que intercomunica com todo o edifício. Os dois primeiros pavimentos são de concreto armado, e o segundo e o terceiro em estrutura metálica nos pilares, vigas e escadas, e as lajes são em concreto armado (Figura 2.2).

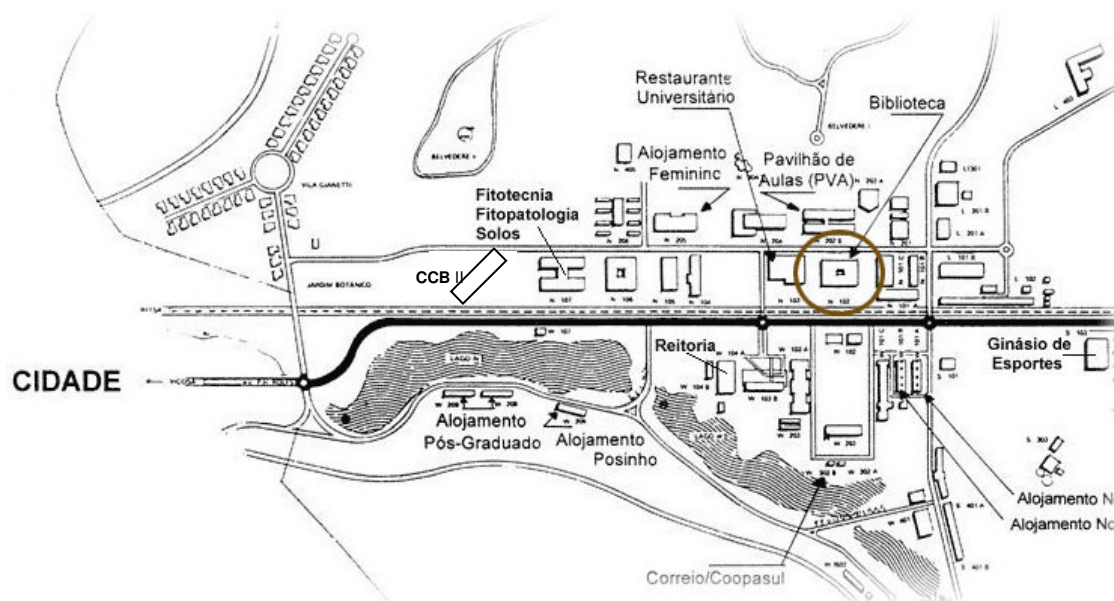


Figura 2.1: Localização da Biblioteca Central no Campus da UFV.

Fonte: <http://www.ufv.br>, acesso em 21/04/2009.



Figura 2.2: Biblioteca Central da UFV.

Fonte: <http://www.ufv.br>

No pavimento térreo, situam-se os setores de reserva, estudo de primeiro e segundo graus, coleção de referência, terminais de consulta, Comut, videoconferência, *hall* de entrada e exposições, auditório e instalações sanitárias, que são as áreas destinadas a uso público e à livraria da Editora UFV com lanchonete e entrada independente. Os setores restritos ao público são o recebimento, a restauração e desinfecção, almoxarifado, depósito e zeladoria, intercâmbio, manutenção do acervo, sala de reuniões, diretoria, secretaria, copa, salas de máquinas e instalações sanitárias destinadas ao uso dos funcionários (Figuras 2.3 a 2.7). A Figura 2.3 ilustra os ambientes do pavimento térreo, estando em vermelho os monitorados por esta pesquisa.

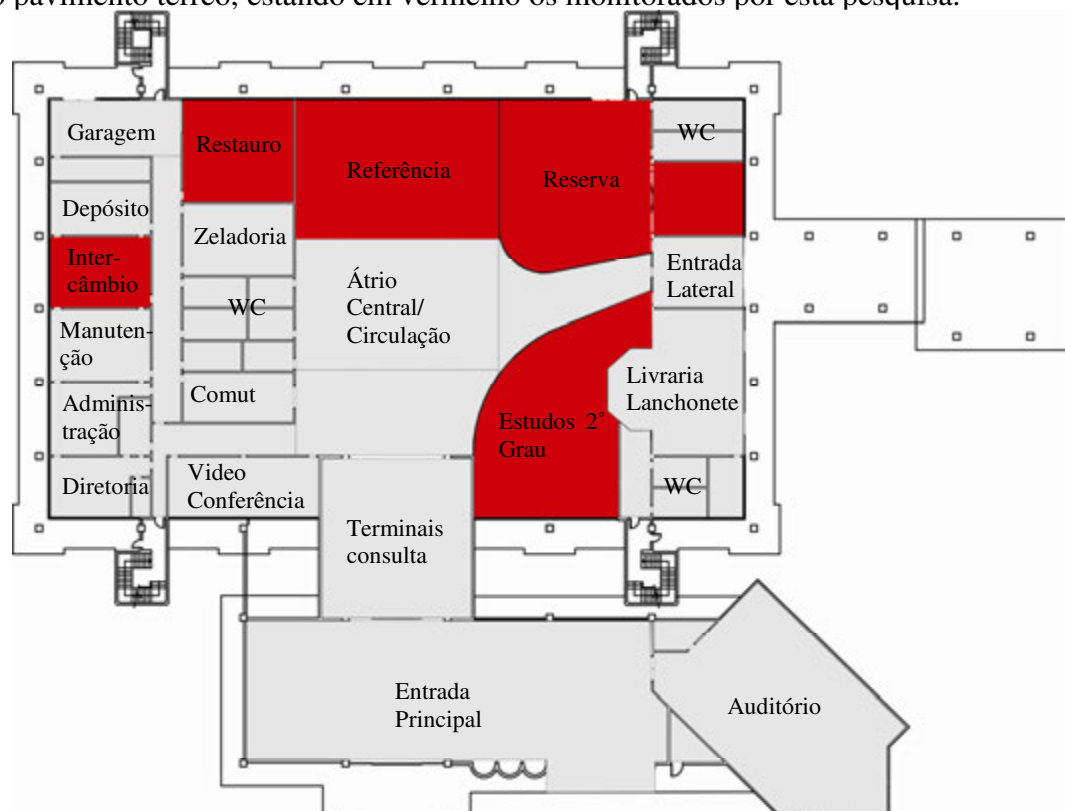


Figura 2.3: Planta baixa esquemática do pavimento térreo. Destaque para os ambientes monitorados na pesquisa, em vermelho.



Figura 2.4: Setor de referência, no térreo.



Figura 2.5: Sala de reserva, no térreo.



Figura 2.6: Vista da sala de estudos 2º grau, no térreo.



Figura 2.7: Sala de estudos 2º grau, no térreo.

O primeiro pavimento abriga as salas de estudo em grupo e individuais, as obras e materiais que necessitam de tratamento especial e salas tecnológicas. As dez salas de estudos individuais localizam-se em torno do átrio central; as três destinadas a estudo em grupo situam-se ao lado direito da edificação. As salas destinadas a obras e materiais que necessitam de cuidados especiais são as de coleções UFV, obras raras, mapoteca, coleções especiais e Biblioteca Depositária das Nações Unidas – ONU. As salas tecnológicas são o laboratório de línguas, a Biblioteca Digital do Café, a de multimídia e a reprografia. Há, também, setor de aquisição, catalogação, casa de máquinas, depósito e instalações sanitárias (Figuras 2.8 a 2.10).

O segundo pavimento abriga o acervo de livros e de pesquisas e espaços destinados à leitura. O acervo fica disposto em torno do átrio central, e os quatro espaços destinados à leitura situam-se três nas laterais do edifício e outro próximo ao setor de empréstimos.

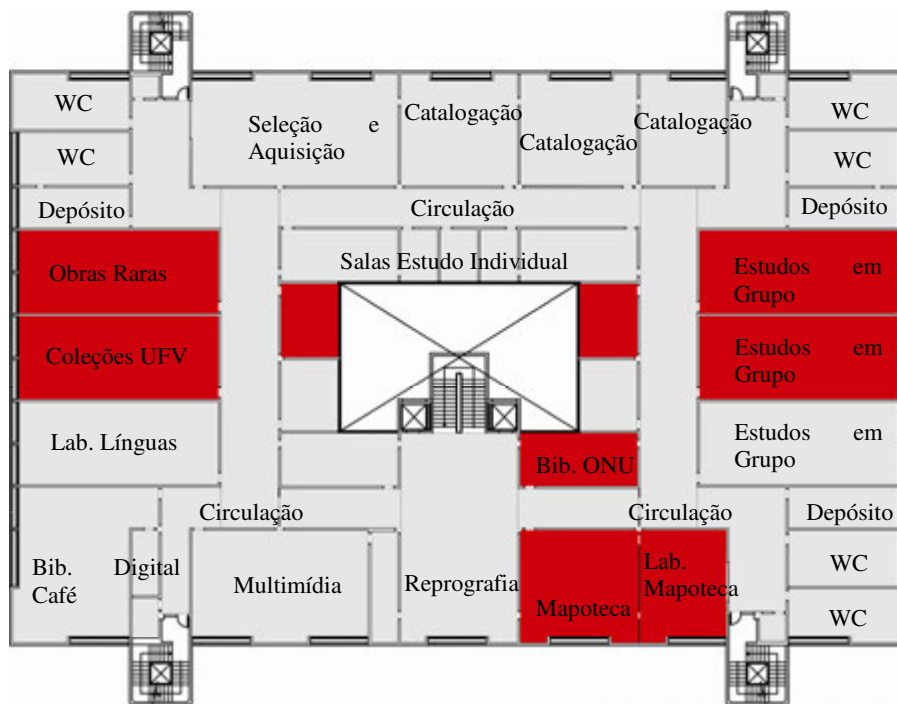


Figura 2.8: Planta baixa esquemática do primeiro pavimento.



Figura 2.9: Vista das salas de estudos individuais, primeiro pavimento.



Figura 2.10: Sala de estudos em grupo, primeiro pavimento.

A área destinada aos empréstimos e devoluções de livros encontra-se voltada para o átrio central, de frente para a circulação vertical. Nas laterais do setor de empréstimos, situam-se as salas de TV e vídeo, videoteca e duas salas para guarda de acervo cujo uso não é frequente. Há, também, depósitos, casa de máquinas e instalações sanitárias (Figuras 2.11 a 2.14).

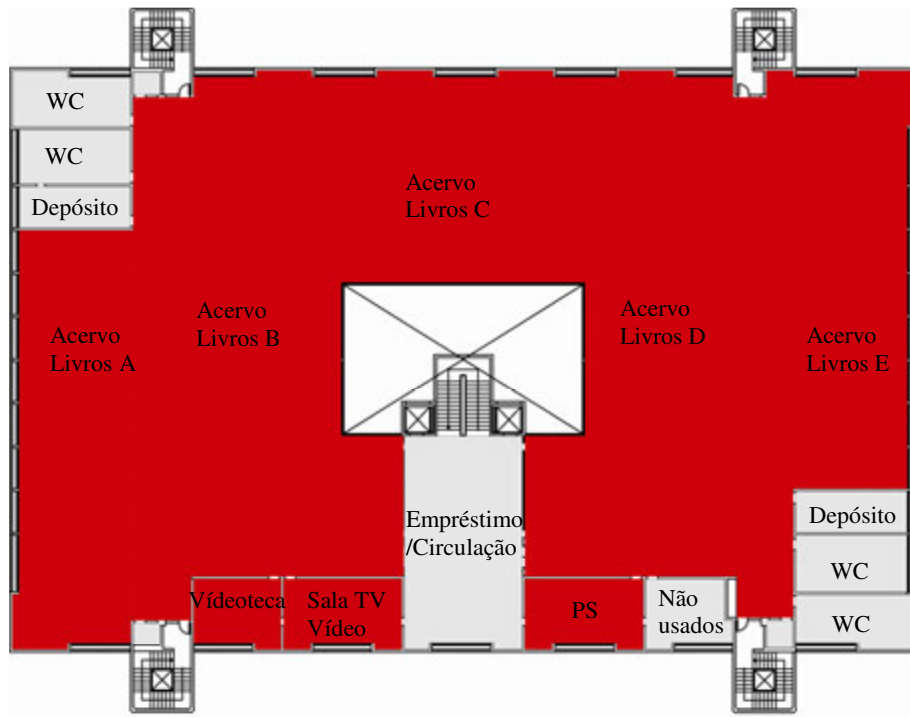


Figura 2.11: Planta baixa esquemática do segundo pavimento.



Figura 2.12: Área para estudos em grupo, segundo pavimento.



Figura 2.13: Área para estudos individuais, segundo pavimento.



Figura 2.14: Vista do acervo do segundo e terceiro pavimentos.

O terceiro pavimento abriga o acervo de periódicos científicos, espaços destinados a estudo em grupo e salas destinadas à guarda de material específico. O acervo localiza-se em torno do átrio central, o espaço destinado a estudo em grupo encontra-se na lateral direita do edifício, e as salas, no total de quatro, na parte frontal, são para guarda de jornais estaduais, Diário Oficial da União, separatas e acervo. Na lateral esquerda, situam-se as salas de obras em Braille, aquisição, depósito e processamento de livros, depósito, casa de máquinas e instalações sanitárias (Figura 2.15 e 2.16). O projeto arquitetônico da edificação encontra-se no Anexo A.

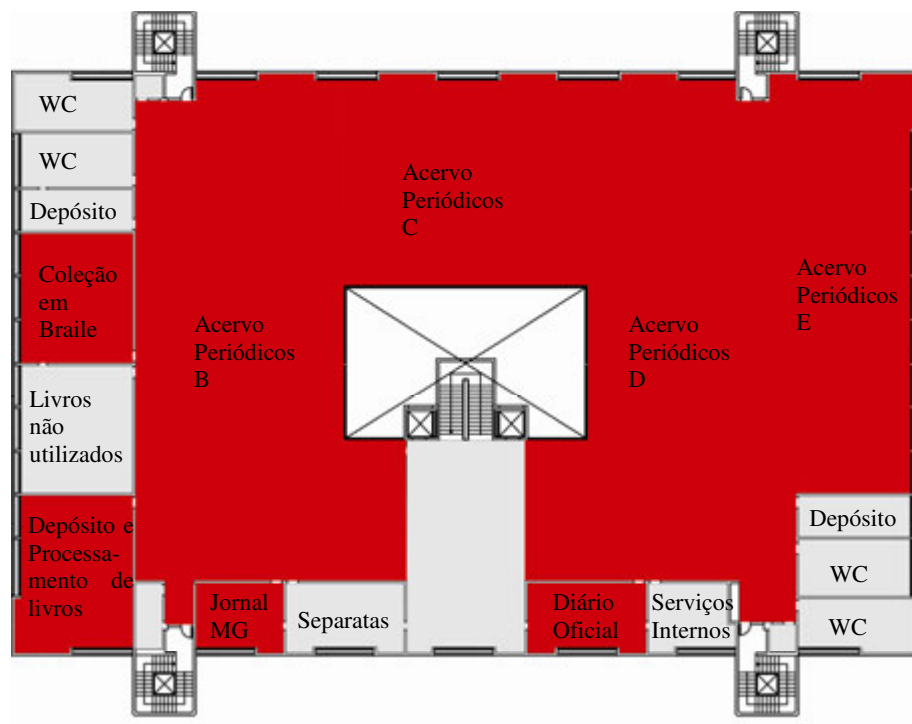


Figura 2.15: Planta baixa esquemática do terceiro pavimento.



Figura 2.16: Área destinada a estudo em grupo, terceiro pavimento.

2.2.Clima de Viçosa

A cidade de Viçosa (20°50’S e 42°5’W; altitude de 679m), na Zona da Mata mineira, está na Zona Bioclimática 3, de acordo com a NBR 15220/3 (ABNT, 2005). Com predominância de temperaturas médias mensais entre 16°C e 22°C, o período de desconforto por calor tende a ocorrer entre o horário de 10h e 17h, conforme Figuras 2.17 e 2.18. Em relação à umidade relativa, as médias oscilam de 75% a 85%, sendo o desconforto causado durante todo o período do dia devido às altas taxas de umidade relativa, conforme Figuras 2.19 e 2.20 (GUIMARÃES, 2011). Os dados informados foram retirados do TMY da referida cidade, referente a os anos de 2005 a 2010.

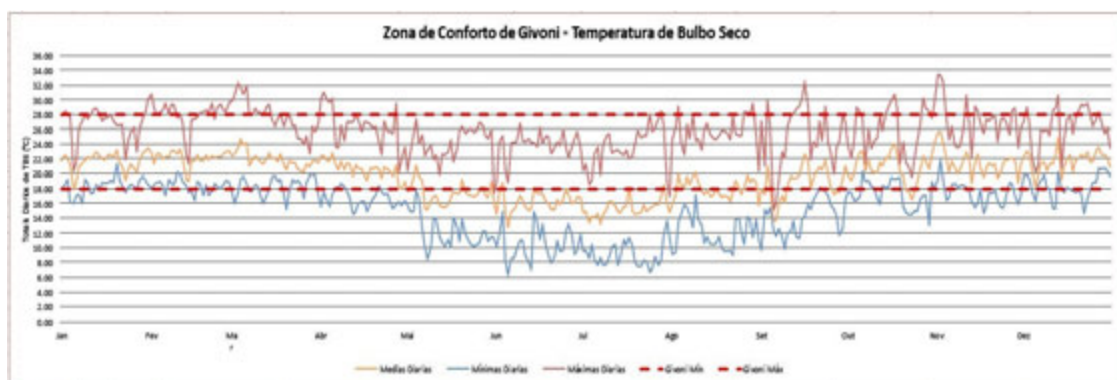


Figura 2.17: Temperaturas de bulbo seco mínimas, médias e máximas diárias, de Viçosa/MG, relacionadas aos limites de conforto de Givoni. Fonte: GUIMARÃES, 2011.

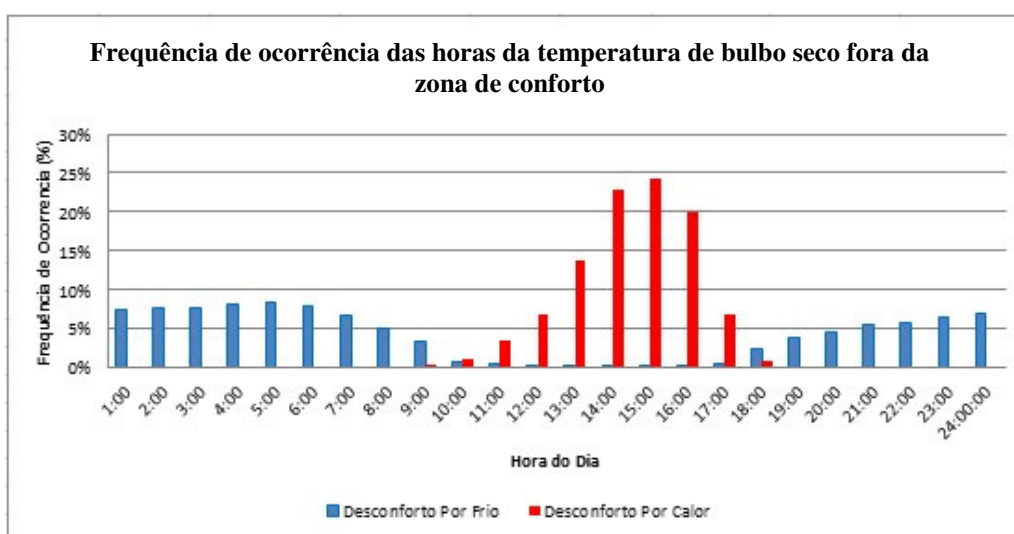


Figura 2.18: Frequência de ocorrência das horas em que a temperatura de bulbo seco está fora da zona de conforto de Givoni em Viçosa/MG. Fonte: GUIMARÃES, 2011.

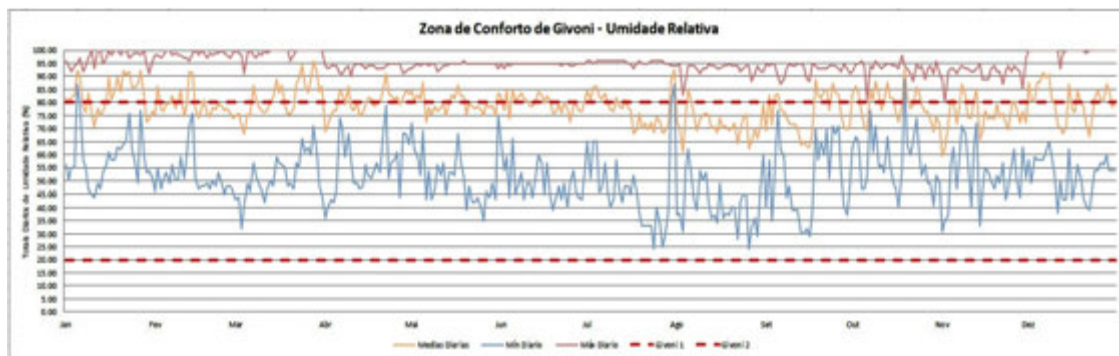


Figura 2.19: Umidades relativas mínimas, médias e máximas diárias, relacionadas aos limites de conforto de Givoni.
 Fonte: GUIMARÃES, 2011.

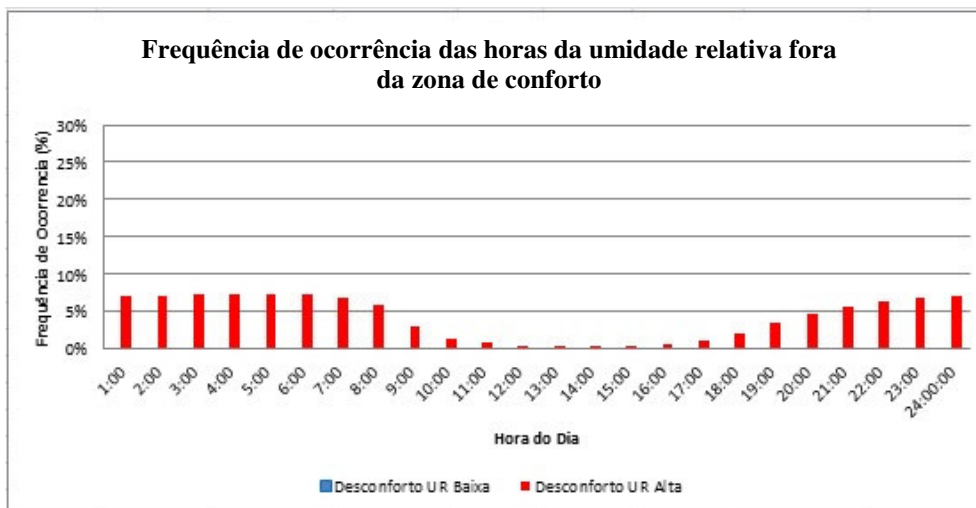


Figura 2.20: Frequência de ocorrência das horas em que a umidade relativa está fora dos limites de conforto de Givoni em Viçosa/MG.
 Fonte: GUIMARÃES, 2011.

Quanto à radiação solar, percebe-se que na maior parte dos meses é bem distribuída ao longo do dia, conforme Figura 2.21. A predominância de chuvas ocorre entre dezembro e março, com lâmina d’água média diária de aproximadamente 8 mm, e 3,34 mm no outono e 0,76 mm no inverno (Figuras 2.22 e 2.23). Quanto à ventilação, a frequência predominante ocorre na direção nordeste, com variações para o leste (Figura 2.24). No período diurno, a predominância é para o nordeste, com grandes variações para o norte (Figura 2.25). À noite, há uma alteração no sentido com maior predominância para o leste, com frequências de 24% para o nordeste e 19% para o sudeste (Figura 2.26) (GUIMARÃES, 2011).

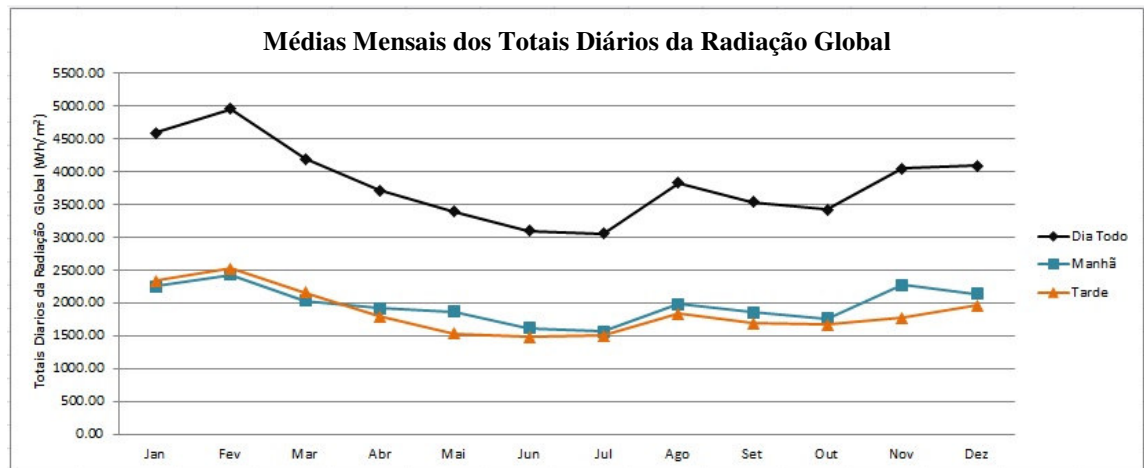


Figura 2.21: Médias mensais dos totais diários de radiação global.
 Fonte: GUIMARÃES, 2011.

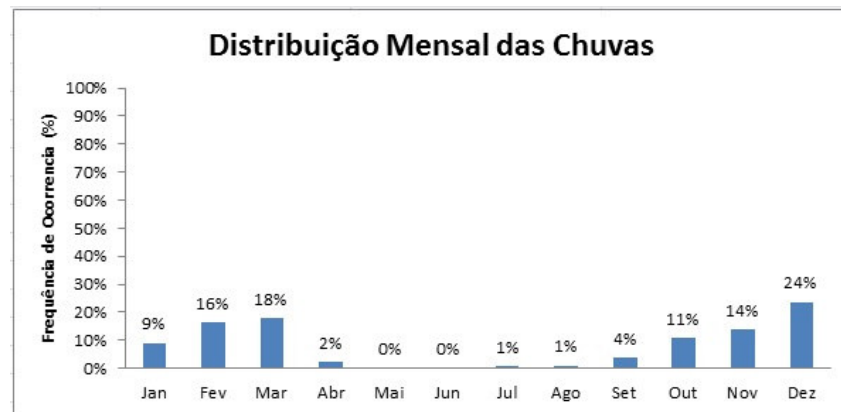


Figura 2.22: Distribuição mensal das chuvas.
 Fonte: GUIMARÃES, 2011.

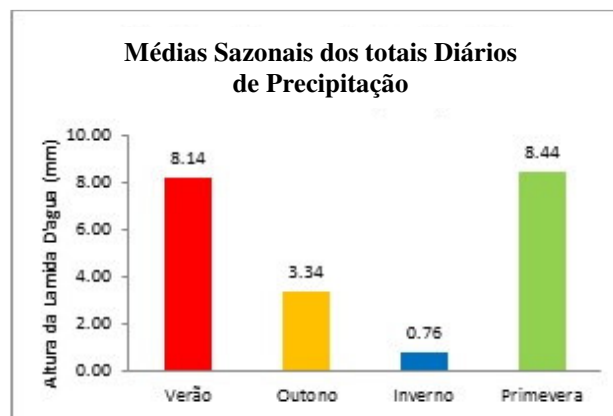


Figura 2.23: Médias sazonais dos totais diários de precipitação.
 Fonte: GUIMARÃES, 2011.

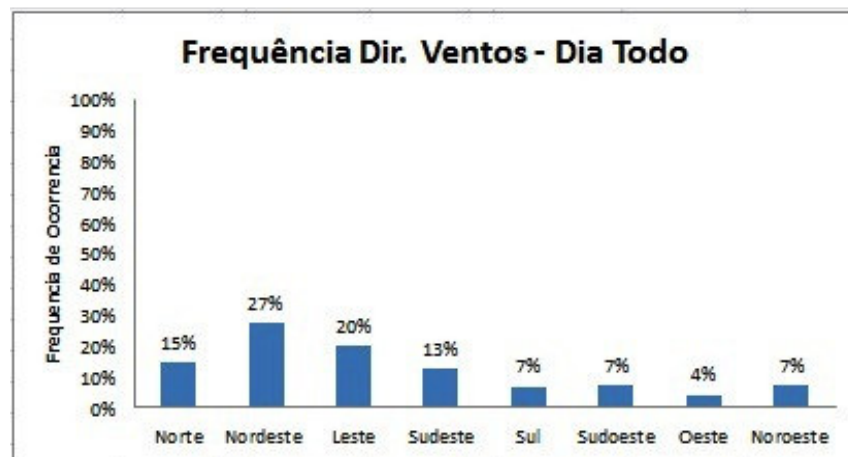


Figura 2.24: Frequência dos dados de direção do vento durante todo o dia.
 Fonte: GUIMARÃES, 2011.

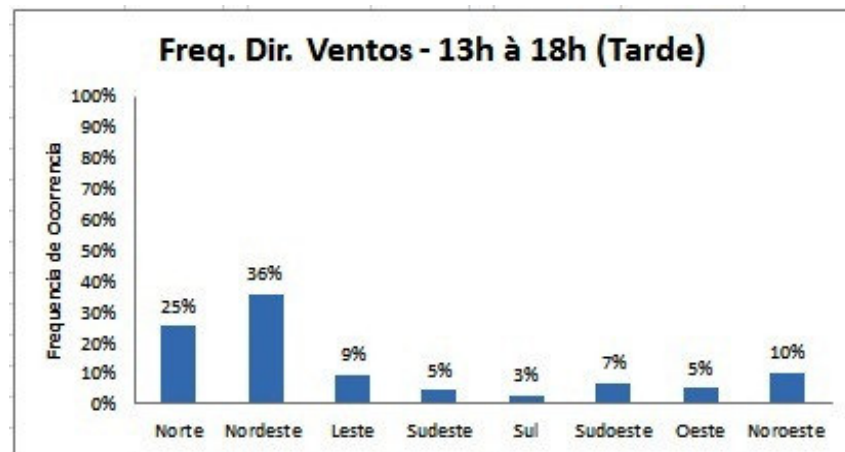


Figura 2.25: Frequência dos dados de direção do vento no período da tarde.
 Fonte: GUIMARÃES, 2011.

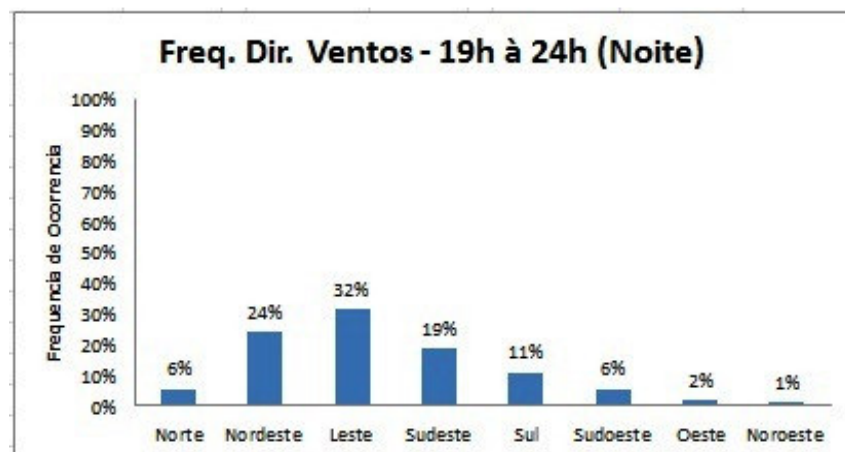


Figura 2.26: Frequência dos dados de direção do vento no período noturno.
 Fonte: GUIMARÃES, 2011.

A carta bioclimática de Givoni com o TMY de Viçosa (Figura 2.27 e Tabela 2.1) mostra que em 61,6% das horas do ano os usuários de um edifício sem estratégias de projeto estarão em desconforto causado por calor ou por frio. As principais estratégias indicadas para aplicação em projetos arquitetônicos são: a ventilação natural (13,3% do ano) para o verão e o aquecimento solar por inércia térmica (35,6% do ano) e o aquecimento solar passivo (9,12% do ano) para o inverno (GUIMARÃES, 2011).

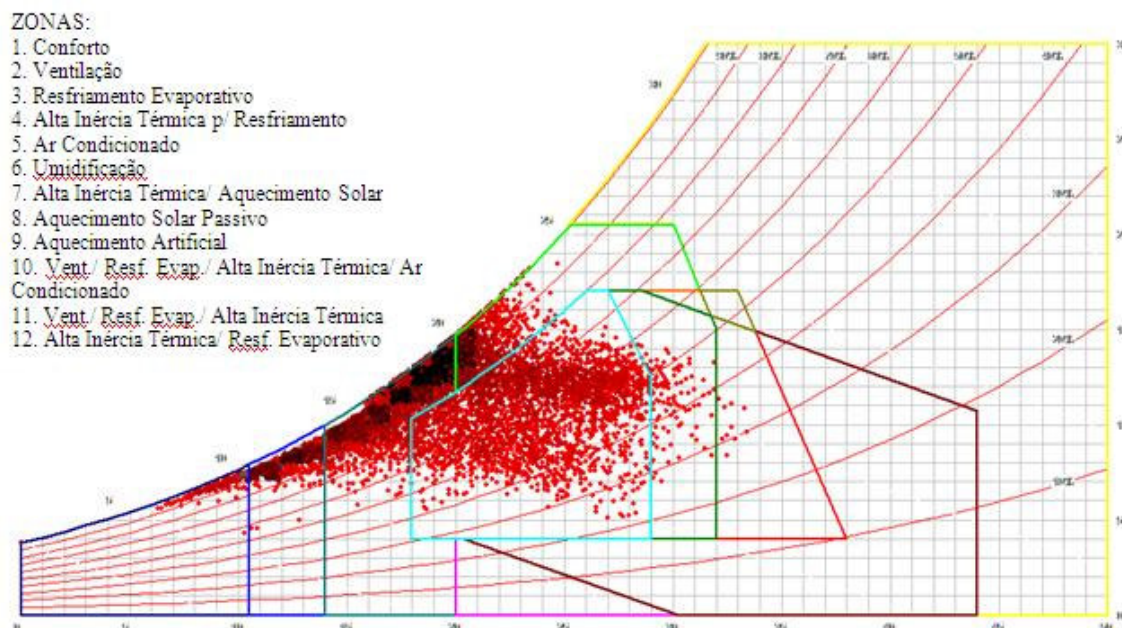


Figura 2.27: Carta bioclimática de Givoni com TMY de Viçosa. Fonte: GUIMARÃES, 2011.

Quadro 2.1: Relatório com as estratégias bioclimáticas de Viçosa.

Dia e Mês Inicial: 01/01 - Dia e Mês Final: 31/12 - Total de Horas: 8761		
Pressão: 101.13 KPa		
Conforto		38,4%
Desconforto		61,6%
	Frio	48,2%
	Aquecimento Solar com Inércia Térmica	35,6%
	Aquecimento Solar Passivo	9,12%
	Aquecimento Artificial	3,5%
	Umidificação	0%
	Calor	13,4%
	Ventilação	13,3%
	Alta Inércia para Resfriamento	1,47%
	Resfriamento Evaporativo	1,47%
	Ar Condicionado	0%

Fonte: GUIMARÃES, 2011.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Conforto higrotérmico

Nesta subseção, são apresentadas as questões necessárias para que um edifício bibliotecário satisfaça às condições de conforto para os usuários e tenha as condições ambientais ideais para a conservação de seu acervo, constituído em sua maior parte por livros. Os pontos aqui analisados servem para se definirem, posteriormente, as condicionantes ambientais a serem utilizadas como parâmetro para a simulação computacional da edificação, buscando determinar os níveis de conforto em bibliotecas que integram, em um mesmo ambiente, ser humano e o acervo.

3.1.1. Conforto humano

Conforto higrotérmico é uma condição mental de satisfação que um ser humano expressa com o meio em que se encontra. Como um fator fisiológico e psicológico, esta sensação é subjetiva e varia em cada indivíduo, o que faz com que nem todas as pessoas fiquem satisfeitas, num mesmo ambiente com uniformidade de temperatura e umidade relativa do ar, podendo algumas sentir calor e, outras, frio. Para atingir essa sensação de conforto, deve haver equilíbrio entre as trocas térmicas do corpo com o ambiente (ASHRAE, 2004). Quando este balanço térmico é instável, o usuário pode ter sensação de desconforto causado por frio ou calor (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

O conforto higrotérmico está diretamente relacionado com o tipo de sistema de ventilação e/ou refrigeração adotado na edificação. No caso de sistema de ventilação natural, a ausência de vento pode causar desconforto por calor e o excesso por frio. Além disso, o sistema ainda é responsável pela retirada de toda a carga térmica gerada e armazenada pelo edifício. Nesse caso, o fechamento de aberturas deve permitir que os usuários controlem o dispositivo de acordo com as necessidades diárias e sua sensação térmica. Considerando essa relação, Hashimoto e Yoneda (2009) analisaram perfis de temperatura verticais para o suprimento de ventilação de acordo com o pé-direito de um escritório, cujo objetivo consistiu em investigar a influência da altura do pé-direito com o conforto higrotérmico dos ocupantes por meio de análise em Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD). O conforto higrotérmico foi avaliado segundo a ISO 7.730:1994. O estudo indicou que há similaridade e linearidade entre os perfis verticais de temperatura em diferentes velocidades de suprimento de ar. Para o conforto

higrotérmico, pé-direito mais alto é preferível para suprir a ventilação, e os gradientes de temperatura em uma zona ocupada são menores e, portanto economizam energia para a mesma carga interna e velocidade de vento.

3.1.1.1. Normas técnicas sobre conforto higrotérmico

Para aplicação do método de simulação em edifícios naturalmente ventilados ou não condicionados, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (BRASIL, 2009) estabelece a necessidade de comprovação de que esses “ambientes internos ofereçam temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual das horas ocupadas”. Para essa análise, também prescreve que se devem adotar algumas normas internacionais, como *ASHRAE Standard 55:2004*, *EN 15.251:2007*, sendo a análise feita com base em horas anuais de conforto higrotérmico, como indicado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Percentual de horas ocupadas em conforto

Percentual de Horas Ocupadas em Conforto	Classificação Final
$POC \geq 80\%$	A
$70\% \leq POC < 80\%$	B
$60\% \leq POC < 70\%$	C
$50\% \leq POC < 60\%$	D
$POC < 50\%$	E

Fonte: BRASIL, 2009.

A NBR 15.220 (ABNT, 2005) trata do desempenho térmico das edificações por meio do zoneamento bioclimático para todo o território brasileiro, subdividido em oito zonas, em que são apresentadas diretrizes construtivas básicas para serem empregadas em projetos arquitetônicos com o objetivo de melhorar a qualidade das moradias e permitir maior satisfação do usuário. Esta norma, porém, é destinada às habitações unifamiliares de interesse social, e, para utilização em projetos de outras tipologias, pode ser necessária a adoção de outras estratégias. Outra norma, a NBR 15.575 (ABNT, 2008), também é voltada para edifícios residenciais de até cinco pavimentos; esta norma, constituída de seis partes, tem como principal objetivo garantir o desempenho eficiente dos sistemas que compõem a edificação.

A norma americana *ASHRAE Standard 55:2004* determina condições para se

promover conforto higrotérmico no interior de edifícios projetados para uso e ocupação humana, com permanência mínima de 15 minutos, e que os ambientes que possuem ventilação natural devem ter janelas controladas de acordo com as sensações dos usuários, ou seja, dispositivos de abrir e fechar. A zona de conforto é definida pela combinação de fatores ambientais (a temperatura, a radiação térmica, a umidade e a velocidade do ar) e pessoais (a atividade metabólica e a vestimenta).

Para essa norma, a zona de conforto foi definida, para a atividade metabólica entre 1,0met e 1,3met, de acordo com a vestimenta, considerando uma taxa de umidade relativa de 50%. Para 0,5clo, a temperatura operativa deve variar entre 24°C e 27°C e para 1,0clo entre 20°C e 25°C (Tabela 3.2). Além disso, estabelece que, com o aumento da velocidade do ar, pode-se aumentar em até 3°C a temperatura do ar e a temperatura média radiante para a zona de conforto, mas esta velocidade deve estar entre 0,2m/s e 0,8m/s. Em contrapartida, não especifica intervalo de taxas de umidade relativa ideais para a atividade humana, já que é uma média temporalmente calculada da mesma forma que a temperatura do ar.

Tabela 3.2: Faixa de temperatura operativa de acordo com a estação do ano ou vestimenta

Estação	Inverno (1,0clo)	Verão (0,5clo)
Temperatura Operativa (°C)	20,0 - 25,0	24,0 - 27,0

Fonte: ASHRAE *Standard* 55:2004.

A norma apresenta outra forma de definir a zona de conforto de acordo com a temperatura operativa interna e a média mensal da temperatura do ar externo, para duas faixas: uma mais rígida, para 90% de aceitação dos usuários, e outra mais flexível, abrangendo aceitação de 80%, conforme Figura 3.1. Há a ressalva de que os valores limites de temperatura operativa não podem extrapolar as temperaturas externas acima e abaixo dos pontos desta figura, ou seja, se a temperatura externa média mensal é menor que 10°C (50°F) ou maior que 33,5°C (92,3°F), este método não pode ser usado. Outra forma de definição da zona de conforto apresentada é por meio do cálculo do PMV-PPD.

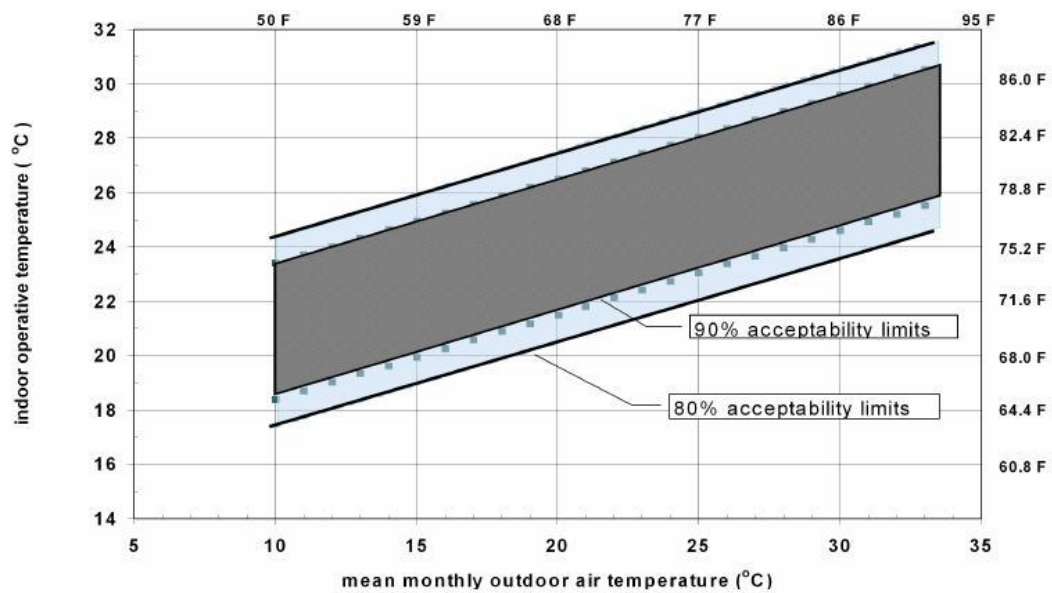


Figura 3.1: Zona de conforto em edifícios com ventilação natural.
Fonte: ASHRAE *Standard* 55:2004.

A EN 15.251:2007 especifica como podem ser estabelecidos os critérios para projetos e dimensionamento de sistemas, inclusive de ventilação natural e alguns parâmetros para cálculo de consumo de energia dos edifícios e avaliações ambientais internas. O método consiste na classificação de diferentes necessidades ambientais internas em três categorias: i) nível alto de expectativa, recomendado para espaços ocupados por pessoas muito sensíveis e frágeis, com requisitos especiais, como deficientes, doentes, crianças e idosos; ii) nível normal de expectativa, que deve ser usado para novas construções e reformas; iii) nível moderado de expectativa, aceitável, que talvez possa ser utilizado para edifícios existentes. A Figura 3.2 exemplifica essas categorias em função da temperatura operativa interna e da temperatura média externa do ar, em graus Celsius (°C), o que é válido para edifícios de escritórios e outras tipologias que sejam usadas por seres humanos, com atividades principalmente sedentárias e habitação, onde os usuários podem facilmente operar as janelas e adaptar sua vestimenta para as condições térmicas internas e externas.

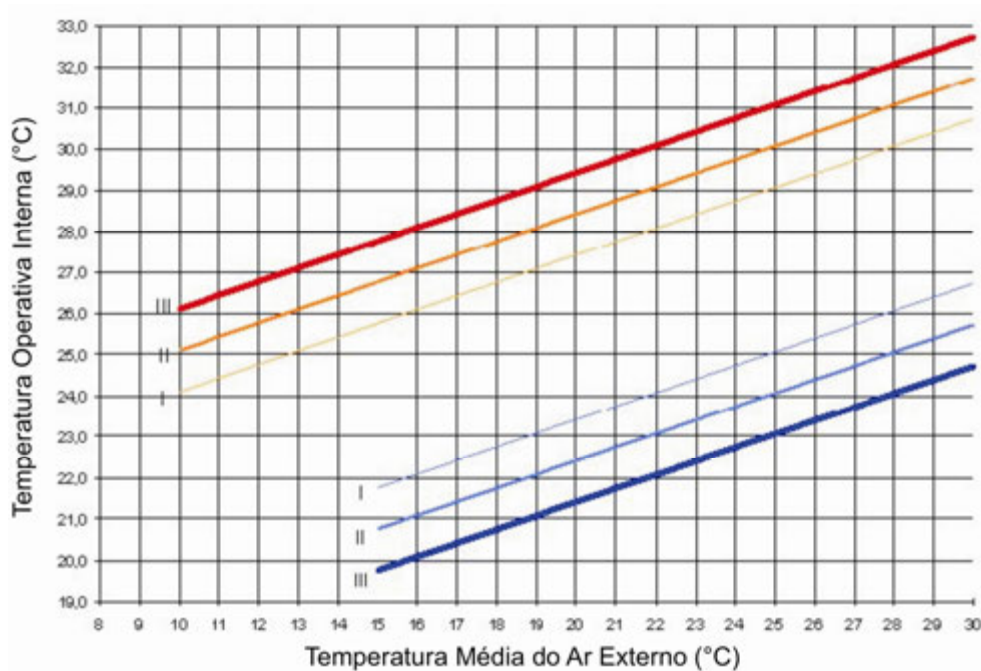


Figura 3.2: As três categorias de conforto em função da temperatura operativa interna e a temperatura média do ar externo.

Fonte: EN 15251:2007.

Essas categorias também podem ser definidas de acordo com o método do PMV-PPD de acordo com a ISO 7.730:1994, desde que se assumam os níveis de vestimenta, normalmente de 0,5clo para o verão e 1,0clo para o inverno, e atividade metabólica, variando de 1,2met a 1,6met, de acordo com a atividade exercida para cada tipologia de edificação. Para a categoria I, o PMV deve estar entre -0,2 e + 0,2, com 6% de pessoas insatisfeitas; a categoria II é definida com PMV entre -0,5 e +0,5 e 10% de insatisfeitos; e, por fim, para a categoria III, o PMV varia de -0,7 a +0,7, com menos de 15% de insatisfeitos.

Essa norma ainda recomenda alguns parâmetros de temperatura operativa para aquecimento e resfriamento de projetos de edificações e dimensionamento de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) para cada classe, sendo os indicados para edifícios onde são realizadas atividades educacionais apresentados na Tabela 3.3. As faixas de temperatura indicadas podem variar de acordo com o projeto, com o costume local ou para economia de energia, desde que os valores estejam dentro do intervalo mencionado e que os ocupantes tenham tempo e oportunidade para se adaptarem à mudança de temperatura.

Tabela 3.3: Faixas de temperatura indicadas para edifícios educacionais

Categoria	Temperatura para aquecimento (°C)	Temperatura para resfriamento (°C)
I	21,0 - 23,0	23,5 - 25,5
II	20,0 - 24,0	23,0 - 26,0
III	19,0 - 25,0	22,0 - 27,0

Fonte: EN 15.251:2007.

Quanto à umidade relativa, o mínimo recomendado para desumidificação é de 50% para a classe I, 60% para a classe II, 70% para a classe III, e maior que 70% para a classe IV. Para umidificação, o necessário é de 30% para a classe I, 25% para a classe II, 20% para a classe III, e menor que 20% para a classe IV (Tabela 3.4). Há a ressalva de que tipologias especiais como museus, igrejas, bibliotecas e indústrias podem requerer outros limites de umidade relativa de acordo com a função principal que exercem além do uso humano.

Tabela 3.4: Taxas de umidade relativa para sistemas recomendadas para projeto

Categoria	Umidade relativa de projeto para desumidificação (%)	Umidade relativa de projeto para umidificação (%)
I	50	30
II	60	25
III	70	20
IV	>70	<20

Fonte: EN 15.251:2007.

Outro método de avaliação das condições de conforto higrotérmico permitido pela norma é o cálculo de graus-hora de aquecimento e resfriamento.

3.1.1.2. Temperatura operativa

Temperatura operativa é uma temperatura uniforme imaginária de um recinto preto enclausurado em que um ocupante trocava a mesma quantidade de calor por radiação e convecção como num ambiente real não uniforme (ASHRAE, 2004). É calculada por:

$$T_{op} = A \times T_a + (1 - A)T_r \quad \text{Eq. (3.1)}$$

em que: T_{op} - temperatura operativa;

T_a - temperatura operativa;

T_r - temperatura média radiante;

A - valor constante, função da velocidade relativa do ar (v_r), conf. Tab. 3.5.

Tabela 3.5: Valores de A em função da velocidade relativa de ar (m/s)

Velocidade relativa do ar (v_r)	<0,2m/s	0,2 a 0,6m/s	0,6 a 1,0m/s
A	0,5	0,6	0,7

Fonte: ASHRAE, 2004.

3.1.2. Adequação ambiental para material bibliotecário

Trinkley (2001) considera a importância do controle das variáveis ambientais no interior de edificações que abrigam coleções, como a temperatura, a umidade relativa (UR) e a qualidade do ar interno. Os papéis, principal material constituinte do acervo de bibliotecas, sofrem degradação muito fácil, e as condições ambientais do meio em que estão inseridos contribuem para esse processo. As variáveis mais importantes para controle são a temperatura e umidade relativa do ar. Em altas temperaturas, há maior proliferação de mofo e insetos, aparecimento de ondulações do papel, descamação de tinta e empenamento das capas de livros; o excesso ou a redução da umidade relativa danifica o papel. Altas taxas de umidade aceleram a degradação, e baixas ressecam as fibras, tornando o papel quebradiço. Além disso, para cada aumento de 10°C na temperatura, a deterioração do papel dobra, pois há também aumento da velocidade das reações químicas (OGDEN, 2001).

Para Trinkley (2001), das variáveis climáticas, a umidade relativa é mais importante que a temperatura e deveria ser controlada primeiro, pois temperaturas baixas não são danosas ao acervo, enquanto a umidade relativa possui somente um pequeno intervalo ideal ao armazenamento. Trinkley (2001) e Ogden (2001) relatam a importância de evitar flutuações na temperatura e umidade relativa, para que não haja uma brusca aceleração no processo de deterioração dos materiais, e de manter as condições adotadas durante todo o ano. Há a possibilidade de adotar padrões menos rigorosos para o verão e inverno, mantendo-os próximos do ideal, mas essas mudanças de temperatura e umidade relativa deverão ser graduais (OGDEN, 2001). Em ambientes de armazenagem de acervo e de permanência de usuários, a temperatura deve ser igual ou inferior a 21°C e não deve variar mais do que 2°C em um período de 24 horas; já a umidade relativa deve estar entre 30% e 50% e também não deve haver variações maiores que 3% em 24 horas (TRINKLEY, 2001; OGDEN, 2001). Para ambientes

somente para armazenagem podem ser utilizadas temperaturas muito mais baixas do que 21°C. Porém, ao transferir o material armazenado para locais mais quentes, é preciso fazer uma aclimatação gradual para não desencadear processos de deterioração (OGDEN, 2001).

Trinkley (2001) propõe algumas estratégias para projetos de bibliotecas públicas condicionadas artificialmente, buscando aumentar a durabilidade das obras. Essas estratégias podem ser adotadas para edifícios que possuem ventilação natural: manutenção da temperatura entre 18°C e 24°C e umidade relativa entre 45% e 55%, durante todo o ano, permitindo apenas flutuações sazonais entre os dois valores e minimizando as flutuações diárias, e fornecimento de ventilação adequada para evitar bolsões de ar, que são propícios ao aparecimento de mofo.

O autor ainda critica os projetos de bibliotecas, com base nos edifícios condicionados artificialmente, ao afirmar que os sistemas de condicionamento de ar são projetados priorizando o conforto humano, de acordo com os níveis definidos pela ASHRAE, e que não incluem as necessidades ambientais das coleções, já que as zonas de adequação térmica para os dois tipos de usuários são distintas, como pode ser verificado na Figura 3.3.

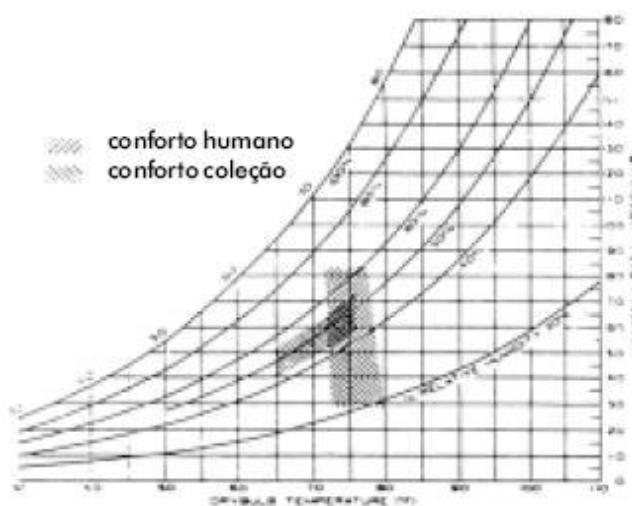


Figura 3.3: Zona de conforto humano comparada à zona de adequação ambiental da coleção.

Fonte: TRINKLEY, 2001.

Nos locais de armazenagem, as fontes luminosas agem como catalisadoras da oxidação e aceleram a deterioração das obras, sendo a radiação ultravioleta (UV) a mais prejudicial. Por causa disso, deve ser evitada iluminação artificial fluorescente e a

própria luz natural proveniente do Sol. O acervo deve ser exposto por curto período a níveis de iluminação baixos somente de forma a permitir a identificação da obra, feita por fonte de luz incandescente (OGDEN, 2001).

Quanto à qualidade do ar, devem ser evitados ao máximo máquinas fotocopiadoras, tintas, madeira, produtos de limpeza e carpetes, que exalem ou liberem no longo prazo qualquer tipo de gás, como dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, peróxidos e ozônio, ou partículas, principalmente a fuligem (OGDEN, 2001).

3.2. Ventilação Natural

Ventilação natural é um dos recursos gratuitos de vento, de energia solar e refrigeração, além de representar uma ótima técnica de ventilação (STAVRAKAKIS *et al.*, 2008). O movimento do ar em edifícios ventilados naturalmente é o resultado de diferentes pressões produzidas pela força do vento e sua flutuabilidade (STAVRAKAKIS *et al.*, 2008). O vento incidente numa face da edificação produz uma pressão positiva a barlavento e uma negativa a sotavento. A diferença entre a pressão externa e a do interior da edificação é que permite a condução do fluxo de ar (KHAN; SU; RIFFAT, 2008).

Como forma de verificar o comportamento dessa ventilação natural interna nos edifícios, têm-se desenvolvido inúmeras pesquisas que estudam a satisfação dos usuários por meio da análise do conforto higrotérmico. A partir disso, Raja *et al.* (2001) analisaram o conforto higrotérmico de usuários, considerando ventilação natural, por meio do controle de aberturas de portas e janelas em dois edifícios no Reino Unido, durante o período de verão, nos meses de junho a agosto. Foram analisadas as situações de portas abertas ou janelas abertas. Não foi considerada a ventilação cruzada, de portas e janelas abertas, por causa do clima muito frio do país. Concluíram que as portas abertas exercem pequeno impacto na sensação térmica e esta não é muito influenciada pelas temperaturas internas e externas. Já as janelas exercem grande efeito no clima interno. Além disso, a disponibilidade de controles das aberturas e seu uso adequado são fundamentais para proporcionar melhor desempenho do edifício e satisfação aos usuários. A proporção de janelas abertas e persianas ou cortinas fechadas aumenta com o aumento das temperaturas interna e externa.

Stavarakakis *et al.* (2008) analisaram a ventilação natural cruzada em edificações por meio de experimentos, simulações numéricas e avaliação do conforto higrotérmico,

cujo objetivo consistia em investigar o potencial de ventilação natural cruzada para um ambiente com duas aberturas de portas em locais não simétricos. Para a obtenção da velocidade e distribuição de temperaturas foram consideradas as forças do vento e sua flutuabilidade. Verificou-se que não houve diferenças significativas para rugosidades de terreno típico rural e urbano, mas permitiu uma observação de flutuabilidade de 10% para a velocidade do vento e de 15% para o ângulo de incidência. As previsões numéricas obtidas por todos os modelos de turbulência foram, em geral, aceitáveis de acordo com as medições experimentais. Os números fornecem uma imagem do fluxo de ar, e os resultados dos efeitos do vento predominante podem representar a ventilação natural. Quanto à análise térmica calculada utilizando o PMV, concluiu-se que, para alguns casos estudados, as condições de conforto internas não são satisfatórias, mas para outros são aceitáveis, aproximando de 80% de satisfação dos ocupantes.

Wang e Wong. (2009) analisaram a ambiência térmica interna de salas com ventilação natural utilizando programas de simulação de modelo de rede acoplados a programas de CFD com os objetivos de comprovar a eficiência e performance da ventilação natural e apurar detalhes ambientais térmicos. Os modelos simulados foram constituídos de uma única zona térmica com duas janelas em lados opostos. Os resultados da comparação entre as simulações acopladas e as validações simuladas com CFD (interna e externa) mostram que a simulação acoplada pode prever melhor a simulação do fluxo de ar no interior do que os programas de modelo de rede (fluxo de ar de rede). Os resultados da simulação são razoáveis em comparação com a simulação de CFD completa.

Para possibilitar a realização desses experimentos de edificações com ventilação natural, por meio de simulação computacional, são necessárias as configurações de parâmetros como coeficientes de pressão dos ventos incidentes nas fachadas, os coeficientes de frestas e os de descarga, conforme nos itens 2.2.1 a 2.2.3.

3.2.1. Coeficientes de pressão

O coeficiente de pressão do vento (C_p) é um número adimensional que “visa quantificar as eventuais reduções sofridas pelo vento em função do ângulo de incidência na abertura e do afastamento entre edificações” (LAMBERTS *et al.*, 2011). “Os valores de C_p dependem da forma da edificação, da direção do vento e da influência de obstruções, como edificações vizinhas, vegetação e características locais do terreno”

(VERSAGE, 2009). Este coeficiente pode ser determinado por meio de tabelas desenvolvidas em pesquisas com equações matemáticas, testes em túnel de vento e até mesmo com simulação em CFD.

Van Moeseke *et al.* (2005) pesquisaram a interferência do vento em edificações com potencial de ventilação natural. O estudo foi realizado com foco na incidência de vento nas fachadas, considerando gradientes verticais e horizontais e a influência devida à densidade do ambiente em larga escala: aberto, urbano e suburbano. A pesquisa mostrou que para edificações com ventilação natural são necessários mais estudos, principalmente para os gradientes horizontais, já que a maior parte das pesquisas trabalha somente com os verticais.

O TNO CP *Generator* é um programa gratuito disponível na *internet*, desenvolvido por Knoll *et al.* (1996) para cálculo dos coeficientes de pressão de vento para fachadas e coberturas, para edificações com volumetria retangular. É um programa confiável, em que os resultados dos C_p calculados foram comparados com testes em túneis de vento e apresentaram valores semelhantes. Para sua utilização, é necessário cadastro no sítio eletrônico do programa e inserção de arquivo de texto ou em extensão *.wmf* da volumetria da edificação, juntamente com a orientação solar e com os pontos desejados de C_p . Os resultados são expressos em gráficos e tabelas.

Já o *Wind Pressure Database* é uma base de dados de coeficientes de pressão para diversas volumetrias e altura de edificações obtidas por meio de testes em túnel de vento, para dois tipos de rugosidade do entorno. Desenvolvido pela Tokyo Polytechnic University (2011), os valores dos C_p são expressos em imagens, com as zonas de pressão demarcadas por cores para cada fachada e cobertura, ou em planilhas com todos os valores de C_p calculados: médios, máximos e mínimos. A Figura 2.5 exemplifica uma imagem dos valores de C_p .

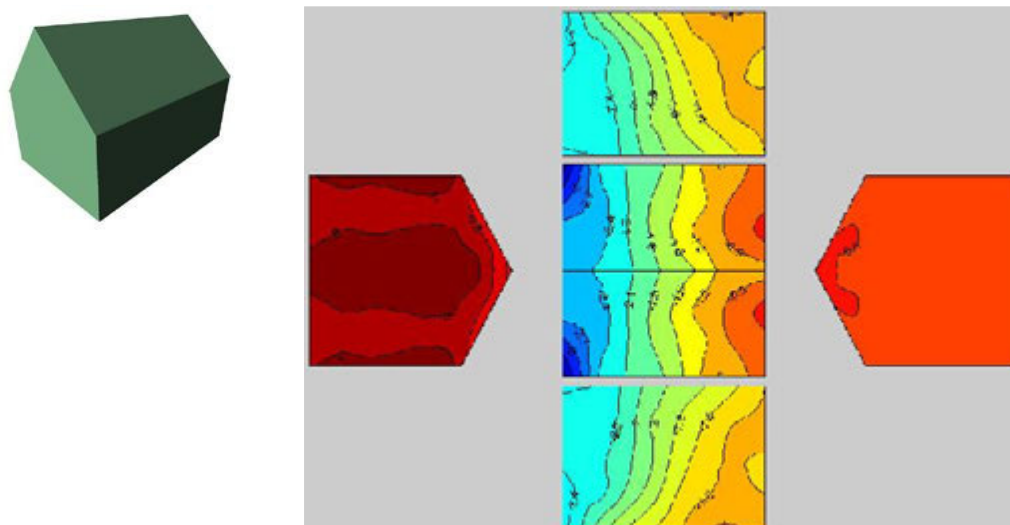


Figura 3.4: Valores de C_p expressos em imagem de acordo com o *Wind Pressure Database*. Fonte: *Tokyo Polytechnic University*, 2011.

3.2.2. Coeficientes de frestas

Denomina-se coeficiente de frestas (C_Q) a taxa de fluxo de massa de ar, em m^3/s , que penetra nos ambientes pelas frestas das aberturas de portas e janelas, ou venezianas e, de acordo com o sistema construtivo, também pelas vedações.

O fluxo de ar através de frestas para fluxos laminares ou turbulentos, que resulta no fluxo de ar em função da diferença de pressão, pode ser calculado por (SANTAMOURIS, 1998 *apud* SORGATO, 2009):

$$Q = C_Q \times (\Delta P)^n \tag{Eq. (3.2)}$$

em que: Q - fluxo da massa de ar (kg/s);

C_Q - coeficiente de fluxo de massa de ar ($kg/s.Pa^n$);

ΔP - diferença de pressão através da fresta (Pa);

n - expoente do fluxo de ar.

O expoente “n” depende das características do fluxo de ar, que pode variar de 0,5 a 1,0 (SANTAMOURIS, 1998 *apud* SORGATO, 2009). Nas Tabelas 3.6 e 3.7 são apresentados alguns valores para C_Q e “n” de acordo com LIDDAMENT (1986 *apud* VERSAGE, 2009).

Tabela 3.6: Coeficientes e expoentes de fluxo de ar por frestas de janelas.

Tipo de Janela	Vedação	Material	Expoente de fluxo de ar (n)			Coeficiente de fluxo (convertido em kg/s.m)		
			Máx.	Med.	Mín.	Máx.	Med.	Mín.
Pivotante - eixo vertical lateral	com vedação	Madeira		0,66		0,00013	0,00004	0,00001
		Rev. Madeira		0,66				
		Metal		0,66		0,00037	0,00035	0,00018
	sem vedação	Madeira	0,85	0,66	0,5	0,00154	0,00030	0,00005
Pivotante - eixo horiz. superior	com vedação	Madeira	0,69	0,57	0,5	0,00158	0,00054	0,00014
		Metal	0,64	0,6	0,52	0,00071	0,00041	0,00023
	sem vedação	Madeira	0,61	0,56	0,6	0,00178	0,00140	0,00114
Pivotante - eixo vertical central	com vedação	Madeira		0,78			0,00004	
		Metal	0,7	0,66	0,63	0,00016	0,00009	0,00003
Pivotante - eixo horiz. central	com vedação	Madeira		0,57			0,00003	
	sem vedação	Madeira	0,9	0,6	0,53	0,00162	0,00103	0,00005
1 folha deslizamento horizontal	com vedação	Madeira		0,66			0,00006	
		Rev. Madeira		0,66			0,00008	
		Metal		0,66		0,00023	0,00010	0,00006
	sem vedação	Madeira		0,66			0,00017	
2 folhas deslizamento horizontal	com vedação	Madeira		0,66				
		Metal		0,66		0,00017	0,00010	0,00005
		Plástico		0,66			0,00010	
	sem vedação	Madeira		0,66		0,00040	0,00025	0,00010
		Metal		0,63		0,00056	0,00028	0,00016
1 folha - deslizamento vertical	com vedação	Metal		0,66			0,00012	
	sem vedação	Madeira		0,66			0,00021	
2 folhas deslizamento vertical	com vedação	Madeira		0,66				
		Rev. Madeira		0,66				
		Metal	0,79	0,66	0,56	0,00036	0,00023	0,00005
	sem vedação	Madeira		0,66				
		Metal	0,69	0,58	0,45	0,00155	0,00058	0,00026
Clarabóia	sem vedação	Metal	0,59	0,55	0,5	0,00397	0,00023	0,00021

Fonte: LIDDAMENT (1986 *apud* VERSAGE, 2009).

Tabela 3.7: Coeficientes e expoentes de fluxo de ar por frestas de portas.

Material	Tipo de Porta	Vedação	Local	Expoente de fluxo de ar (n)			Coeficiente de fluxo (convertido em kg/s.m)		
				Máx.	Med.	Mín.	Máx.	Med.	Mín.
Porta de madeira	1 folha Pivotante	com vedação	Interna	0,7	0,6	0,5	0,00332	0,00187	0,00105
			Externa		0,64		0,00160	0,00124	0,00090
		sem vedação	Interna	0,79	0,59	0,51	0,00437	0,00204	0,00063
			Externa	0,71	0,59	0,5	0,00455	0,00171	0,00102
			Corta-fogo		0,58			0,00221	
		2 folhas Pivotantes	sem vedação	Interna		0,66			0,00539
	Externa				0,6			0,00252	
	1 folha de correr	sem vedação	Externa		0,66			0,00026	
	Porta de metal	1 folha Pivotante	sem vedação	Interna		0,66			0,00005
Externa					0,66			0,00005	
Porta de enrolar	Por m ² de porta		Externa		0,66			0,01810	

Fonte: LIDDAMENT (1986 *apud* VERSAGE, 2009).

3.2.3. Coeficientes de descarga

A circulação do ar nos ambientes residenciais encontra resistência pelo caminho, que são impostas pela geometria das aberturas (SORGATO, 2009). A essa resistência nas saídas e entradas das aberturas de portas e janelas dá-se o nome de coeficiente de descarga (C_D) e é uma função entre a diferença de temperatura e a velocidade do ar em relação à geometria da abertura (ALLARD, 1998 *apud* SORGATO, 2009). Há diversos valores tabelados para C_D definidos com base em pesquisas matemáticas, túnel de vento e simulação computacional. De acordo com o autor, há divergência dos valores adotados em relação ao tipo de abertura encontrado nos edifícios. Flourentzou, Van der Mass e Roulet (1998) pesquisaram a mensuração dos coeficientes de descarga para refrigeração passiva em edifícios com ventilação natural, tomando como estudo de caso um edifício institucional na Suíça. Para os resultados adquiridos com a pesquisa, obteve-se precisão de 20% a 25% em relação ao comparado com o edifício real. A partir disso, o C_D proposto pelos autores varia de 0,6 com precisão de $\pm 0,1$, de acordo com o tipo de abertura.

3.3. Simulação computacional

As análises termoenergéticas das edificações em programas computacionais têm

sido cada vez mais importantes, pois auxiliam na tomada de decisão ainda em fase de projeto para promover a integração dos diversos sistemas consumidores de energia que compõem a edificação e as necessidades higrotérmicas para o conforto humano, de forma a otimizar seu consumo, proporcionando maior eficiência energética e menor custo (AL-HOMOUD, 2001). De acordo com Mazzarella e Pasine (2009), a simulação é uma forma de prever como serão o funcionamento e a eficiência real dos sistemas e da própria edificação, e qual será sua reação quando submetida a alguma condição.

Para a simulação computacional há vários programas que permitem análises de desempenho térmico e energético e avaliação das condições de conforto dos usuários. De acordo com o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), há mais de 300 programas de simulação desenvolvidos por vários países para diversas finalidades, como o DOE2.1E, BLAST, *EnergyPlus*, TRNSYS, TAS, ECOTECT, sendo o mais utilizado o *EnergyPlus* (DOE, 2009).

Além disso, o RTQ-C exige que os programas utilizados para o método de simulação para cálculo do nível de eficiência de edificações devem ser capazes de analisar o consumo energético em edifícios; ser validado pela ASHRAE *Standard* 140; modelar 8760 horas por ano; as variações horárias de ocupação, potência de iluminação, equipamentos e sistemas de ar condicionado, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados; os efeitos de inércia térmica; multizonas térmicas; simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto; produzir relatórios horários do uso final de energia, e modelar e determinar a capacidade dos sistemas de condicionamento de ar listados no Apêndice G da ASHRAE 90.1 (BRASIL, 2009).

3.3.1. Método *BESTEST*

O método *Bestest* (*Buildng Energy Simulation Test*) é um dos requisitos exigidos pelo RTQ-C (BRASIL, 2010) para permitir o uso dos programas computacionais utilizados no método de simulação para cálculo do nível de eficiência energética de edificações. O método foi desenvolvido para validar programas e seus resultados na análise termoenergética de edificações com sistemas de condicionamento artificial. O método está especificado e detalhado na ASHRAE *Standard* 140, cujo objetivo consiste em validar a confiabilidade dos resultados por meio de testes de avaliação das análises energéticas dos programas computacionais por meio de validações empíricas, verificações analíticas e análises de técnicas comparativas. As validações empíricas são

os resultados calculados do programa, as sub-rotinas, algoritmos de cálculo, que são comparados com o monitoramento dos dados de uma edificação real ou experimento em laboratório. As verificações analíticas consistem em comparar os dados de saída do programa e os algoritmos com os resultados de soluções analíticas conhecidas, ou a generalização de métodos numéricos aceitáveis para isolar os mecanismos de transferência de calor com condições restritas (NEYMARK *et al.*, 2002). De acordo com Carlo e Lamberts (2010a e 2010b) está em fase de avaliação através de verificação analítica método *Bestest* desenvolvido para validação de programas computacionais que simulam sistemas de ventilação natural, sendo que alguns dos programas avaliados são o *EnergyPlus* e *Esp-r*.

3.3.2. *EnergyPlus*

O programa *EnergyPlus* foi desenvolvido pelo DOE e criado por meio da união do DOE-2 e do BLAST, utilizando-se os melhores recursos de cada um (CRAWLEY *et al.*, 2001). É constituído de três componentes básicos: gerenciador da simulação, simulador de balanço térmico e de massa, simulador dos sistemas da edificação. O primeiro controla todo o processo de simulação, e o segundo foi baseado na última versão do BLAST e integra sistemas de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar (HVAC) e as cargas da edificação. O último módulo age por meio da comunicação entre o balanço térmico e os vários módulos de HVAC e *loops*, como os *coils*, *boilers*, *chillers*, bombas, ventiladores e outros equipamentos e componentes (CRAWLEY *et al.*, 2001). O programa ainda permite que sejam simulados períodos diferenciados, de acordo com a necessidade dos relatórios com os dados de saída, como um dia, parte do dia, semanas, meses, estações, o próprio ano inteiro e frações de hora, com subdivisão de 15 minutos (CRAWLEY *et al.*, 2000).

Para a simulação são necessários dois arquivos: um com a modelagem da edificação, tanto volumétrica, com especificação de materiais, como quanto aos sistemas e cargas internas de equipamentos e iluminação que compõem a edificação; e outro, o arquivo climático do local em que o edifício está ou será implantado, para todo o ano, 8760 horas, contendo principalmente dados de temperatura do ar de bulbo seco e úmido, umidade relativa, radiação extraterrestre atmosférica, pressão atmosférica, precipitação, nebulosidade, direção e velocidade do vento (ENERGYPLUS, 2010).

Já os relatórios com os dados de saída são gerados em formatos de planilhas

eletrônicas e gráficos, sobre o consumo energético, os ganhos térmicos provenientes das superfícies, as cargas internas, controle das variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade), fluxo de ar entre zonas térmicas provenientes de ventilação natural, condicionamento artificial ou infiltração, qualidade do ar, luz natural, dentre outros.

3.3.3. Modelagem da edificação

Modelagem é descrição de um sistema por meio da extração, organização e representação do edifício, de forma equivalente, criando um modelo conceitual (MAZZARELLA e PASINI, 2009). Ainda de acordo com o autor, há diferentes tipos de descrição, linguagens e metalinguagens dos sistemas para criar o modelo conceitual que dependem dos dados de entrada, da velocidade de desenvolvimento e da validação do modelo, da velocidade de experimentação e da confiabilidade dos resultados.

Para a modelagem no programa *EnergyPlus*, além da volumetria e dos materiais utilizados, é necessário configurar todos os sistemas HVAC, inserir as cargas internas devido a pessoas, equipamentos, iluminação e outros sistemas consumidores de energia elétrica e também os padrões de uso dos sistemas e ocupação do edifício, que variam de acordo com a tipologia da edificação. Para a modelagem da volumetria propriamente dita, de acordo com a complexidade da edificação, com a quantidade de zonas e cavidades internas, são necessários diversos estudos para validar os resultados obtidos com os métodos utilizados com testes em edificações reais ou mesmo em túnel de vento, como as pesquisas apresentadas a seguir sobre átrios. Esse levantamento sobre modelagem de átrios tornou-se necessário devido à complexidade da edificação utilizada como estudo de caso e à existência de átrio interno que interliga do térreo ao terceiro os pavimentos.

3.3.3.1. Átrios

Os átrios centrais com coberturas translúcidas vêm cada vez mais sendo empregados nos edifícios devido às suas vantagens estéticas e de iluminação interna. Apesar disso, os fenômenos higrotérmicos são mais complexos nesses locais devido à altura e ao volume de ar, o que dificulta o correto dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar passivo e ativo, e origina gradientes internos de temperatura. Normalmente, os sistemas são dimensionados para os locais de permanência de usuários, ou seja, somente a parte inferior do átrio é condicionada artificialmente. Para

os casos com ventilação natural, em toda a cavidade são dispostas aberturas para promover a ventilação, mas o ambiente é tão extenso que os coeficientes são muito baixos, reduzindo a ventilação interna e aumentando, portanto, a temperatura, além de reduzir a qualidade do ar interno e a eficiência energética.

Pan *et al.* (2010) analisaram temperaturas em átrios centrais com coberturas translúcidas em edifícios de múltiplos pavimentos, em regiões de clima quente e úmido, a partir de simulação computacional utilizando o *EnergyPlus* e modelo CFD. As simulações foram realizadas durante um período de duas horas, para um dia de verão para dimensionamento da carga térmica para resfriamento. Um fator adimensional foi definido entre a altura e a área de piso do átrio para especificar sua forma geométrica. Quando a relação obtida foi maior que 10, percebeu-se que houve pouca influência dos raios solares no piso do átrio e nos ambientes adjacentes. Os resultados das simulações mostraram que, em geral, a temperatura do ar aumenta gradualmente junto com a altura, e esse gradiente de temperatura torna-se mais alto na região próxima à parte superior do átrio. A partir disso, os autores propuseram uma modelagem para o átrio que consiste na divisão em duas zonas térmicas verticais, de acordo com a estratificação da temperatura do ar: do piso até a altura de 10m abaixo da cobertura, já que a temperatura do ar dessa região varia pouco e há pouca influência da radiação solar; e da superfície da cobertura até 10m abaixo, pois o gradiente de temperatura do ar é muito alto devido à radiação solar que penetra pela cobertura translúcida.

Kohri (2003) desenvolveu um método de estimativa simplificada para o cálculo da área efetiva de abertura de portas de entrada operadas automaticamente e da taxa de fluxo de ar de inverno, em Tóquio no Japão, em *halls* de entrada, devido ao efeito chaminé, provocado pelos átrios dos arranha-céus, já que funcionam como canalizador do fluxo de ar. A partir disso, por meio de simulação computacional, o pesquisador avaliou os impactos do dimensionamento nos equipamentos de aquecimento do ar interno. Para isso, foram utilizados seis tipos de edifícios de escritórios, com 30 pavimentos, com duas entradas no térreo: cinco possuem átrio e um não. Foi utilizado o modelo de rede em que foram criadas várias zonas, e, para cada uma, foram definidos os nós de acordo com os eixos centrais de fluxo de ar: elevadores, escadas e o próprio átrio. Esses nós foram simplificados por meio do agrupamento de pavimentos, ou seja, um nó no subsolo; um no pavimento térreo; outro no 15º andar; um terceiro entre os dois últimos, para os pavimentos intermediários; outro nó no 16º andar; um no último e,

finalmente, outro intermediário entre esses pavimentos, totalizando sete nós em cada eixo, todos interligados ao átrio, que é o eixo principal do edifício.

Zhu e Yan (2007) estudaram os diversos métodos de modelagem de átrios, de uma única zona térmica simulada com CFD até um modelo zonal com várias zonas térmicas de acordo com a distribuição de temperaturas internas, com o objetivo de desenvolver um sistema modular para simulação térmica dinâmica de átrios em fase de projeto arquitetônico, por meio do programa DeST para auxiliar no dimensionamento dos sistemas de refrigeração, aquecimento e ventilação. A edificação analisada possui 5 pavimentos, com um total de 20m de altura. Para a simulação, o modelo adotado consistiu em subdividir o átrio verticalmente em várias zonas térmicas de acordo com o gradiente térmico, em que a temperatura de *setpoint* seria definida pelos projetistas. Os pesquisadores escolheram esse modelo pela facilidade de modelagem e redução do tempo gasto com simulação.

Mehta (2005) analisou um sistema de ventilação natural para refrigeração em um edifício de escritórios com seis pavimentos e átrio aberto. As simulações foram realizadas para um período de verão de quatro dias, de 14 a 17 de agosto, em Boston, e o modelo utilizado foi o mais simples: de uma única zona térmica para todo o átrio.

3.3.3.2. Padrões de uso e ocupação

Schedules são os padrões de uso e ocupação do edifício no *EnergyPlus*. Os padrões de uso são a descrição do funcionamento de cada sistema integrante do modelo computacional e os de ocupação são as taxas de ocupação horária por pessoas, por zona térmica. São configurados de acordo com a demanda, os dias e os horários de funcionamento ou permanência. Existem muitas pesquisas que auxiliam na definição das *schedules* para edifícios de escritórios, porém, faltam pesquisas nesta área para a tipologia de edifícios educacionais, já que os horários de funcionamento dos sistemas e de ocupação variam de acordo com o tipo de atividade que cada um exerce.

A partir disso, Davis III e Nutter (2010) analisaram os fatores de ocupação em edifícios universitários. Geralmente não há estudos para esta tipologia devido às suas especificidades. Pesquisaram seis tipos de edifícios: administrativo, bibliotecário, recreativo, departamental, pesquisa e pavilhão de aula. Os padrões de uso foram definidos por meio da análise de vídeos de câmeras de segurança, e, quando não as possuíam, foi realizado o *walkthrough*. A metodologia consistiu basicamente em

levantamento dos horários de funcionamento das edificações e o quantitativo dos usuários durante uma semana. Com esses dados, foram gerados gráficos de linhas diários, separados em dois tipos: dias da semana e final de semana. Posteriormente, retiraram as médias dos gráficos, obtendo-se um padrão de uso horário para cada um.

3.3.4. Validação do modelo

Pedrini, Westphal e Lamberts (2002) apresentaram uma metodologia de modelagem e calibração em edificações, bem como seus impactos nos resultados. As tipologias consideradas para este método possuem maior complexidade e sistemas de condicionamento artificial. A metodologia proposta é constituída de basicamente três fases: a) simulação da edificação com base no projeto da edificação; b) *walkthrough* da edificação; e c) mensuração do consumo energético. A intenção da primeira fase é estimar o consumo de energia da edificação com base apenas em informações através de projeto, como projeto arquitetônico, sistemas de iluminação, condicionamento de ar primário e secundário, total de ocupantes, equipamentos eletrônicos e propriedade dos materiais utilizados na edificação. A segunda consiste em realizar o *walkthrough* por meio de análise e observações no local e, posteriormente, medições para conferência das variáveis ambientais como temperatura do ar, umidade relativa e dos níveis de iluminação, potência instalada de equipamentos e condicionamento de ar. Para a fase de calibração, os autores iniciaram o processo pelo sistema de iluminação, depois pelos *chillers*, *fan-coils* e torres de resfriamento e, por último, pela potência dos equipamentos eletrônicos. Já a última fase consiste na mensuração da energia de uso final dada pelas lâmpadas, equipamentos eletrônicos e condicionamento de ar. Por fim, os resultados da simulação calibrada são comparados com o consumo energético final da edificação. A metodologia comprova a importância e necessidade de fase de calibração para que os resultados obtidos com a simulação computacional retratem o comportamento real do edifício, e não somente relatórios com dados que não possam ser aproveitados para realização de intervenções de forma a aumentar a eficiência energética.

Westphal (2007), em sua tese de doutorado, desenvolveu um método de validação de simulação de desempenho térmico de edificações comerciais existentes através da análise de incertezas e sensibilidade. A calibração consiste no processo iterativo em que o usuário procura ajustar os dados de entrada do modelo para obter uma representação adequada do comportamento energético da edificação. A estrutura

básica do método consiste em duas etapas: análise de sensibilidade do modelo básico da edificação, e aplicação dessa análise ao modelo de simulação. Na primeira etapa, são utilizadas equações obtidas por meio de regressão do consumo energético como método de cálculo. Identificados e ajustados os parâmetros mais influentes do modelo, por meio de iterações, parte-se para a segunda etapa da metodologia. Segundo o autor, o objetivo do método é permitir a interpretação do desempenho energético da edificação com base nos fatores que influenciam suas fontes de calor, sem indicar os valores mais adequados para a representação do comportamento termoenergético do edifício no modelo utilizado, mas auxiliando o simulador para que possa quantificar o grau de precisão do modelo adotado com base nas incertezas sobre os parâmetros significativos.

Pereira (2009), em sua dissertação de mestrado, utilizou metodologia para calibração do modelo computacional naturalmente ventilado que consistiu na modificação de alguns parâmetros, comparando-se os resultados da simulação com as variáveis ambientais monitoradas da edificação estudada, o erro quadrático e a amplitude das temperaturas durante o período analisado. Quando um parâmetro alterado era considerado adequado, a alteração era mantida nas simulações seguintes, que consistiam em temperatura do solo, geometria da edificação, resistência térmica dos materiais do envelope, absorvância dos materiais do envelope, ganho interno de calor por equipamentos, infiltração de ar, coeficiente de descarga e expoente da velocidade do vento, de forma a produzir resultados confiáveis com a simulação.

Costa *et al.* (2009) propuseram uma nova metodologia, denominada Fatores-Chave, cujo objetivo é aumentar e dar suporte à performance energética da edificação, através da definição de estratégias para otimizar a operação dos sistemas. Esses Fatores-Chave são parâmetros de temperatura de *setpoint*, níveis de iluminação, dentre outros, que são testados após a fase de calibração, em que os dados são comparados em relação ao consumo energético e ao conforto dos ocupantes. Os parâmetros que melhor se destacam e que funcionarão num edifício real tornam-se efetivos do modelo. Por fim, são testados vários padrões de uso dos sistemas a fim de verificar sua eficiência, reduzindo o consumo energético e o custo efetivo.

Van Schijndel, Schellen e Timmermans (2010) analisaram a performance do sistema de climatização de um museu, na Holanda, considerando a possibilidade de falha em algum componente. Para isso, descreveram, a partir da etapa de construção do modelo experimental, a metodologia utilizada para a validação do modelo, constituída

de: 1) implementação dos padrões de aquecimento, umidade e ar e dos componentes HVAC da edificação; 2) validação dos dados mensurados do modelo em relação aos dados dos sistemas de controle; 3) simulação do modelo calibrado e projeto de novo sistema HVAC; 4) discussão usual da nova abordagem. Os autores ressaltam, ainda, que o controle do clima interno em átrios é uma desvantagem, devido aos distúrbios causados pela dificuldade de controle das pessoas e dos fluxos de ar. Além disso, ressaltam que a validação do modelo para a simulação é o maior problema, pois utilizam para a calibração os dados registrados na edificação, que muitas vezes não são confiáveis ou não existem por falta de sensores ou porque estes estão mal instalados. No caso citado, a calibração não foi possível. Concluiu-se que, para o edifício analisado, em caso de falha de algum componente do sistema, o suprimento de ar para os depósitos é desligado automaticamente, e que estes possuem inércia térmica suficiente para manter um clima estável internamente por um período longo durante o reparo, mas que são necessários estudos em mais de um caso.

4. MÉTODO

A metodologia deste trabalho foi estruturada em cinco partes:

- A) Descrição das etapas de medições higrotérmicas, dos períodos do ano, dos horários e dos ambientes que foram monitorados, além da relação dos equipamentos utilizados e da fase de calibração dos termômetros de globo negro que foi utilizado na pesquisa e o utilizado pela UFV.
- B) Testes pré-modelagem, que consistiram em avaliar a possibilidade de simplificação da volumetria e a redução do pé-direito da edificação para redução do tempo despendido com a própria modelagem e a simulação computacional. Foram realizados quatro tipos de testes:
 - 1) considerando variadas alturas de pé-direito, adotando-se como referência a altura da biblioteca;
 - 2) a generalização do primeiro teste, realizada por meio da repetição dos protótipos adotados no caso “a”, com aumento do pé-direito total, cujo objetivo consistiu em confirmar os resultados encontrados no primeiro, para variadas alturas de pé-direito;
 - 3) em planta-baixa, através de diversas configurações, originando volumes parecidos com os encontrados na biblioteca; e, para finalizar,
 - 4) o teste realizado com uma sala da própria edificação, para permitir a adoção da melhor estratégia de modelagem e simulação, e como modelo da pesquisa.
- C) Modelagem do edifício abrangendo as questões relacionadas à modelagem da biblioteca, como simplificações dos ambientes, parâmetros utilizados para o átrio central e escadas de emergência, além de estabelecer os padrões de ocupação, de uso dos equipamentos e as cargas internas instaladas, como equipamentos elétricos, pessoas e iluminação.
- D) Validação do modelo experimental, sendo descritas as metodologias e os critérios adotados para as alterações realizadas no modelo inicial, em cada etapa de calibração utilizada na simulação computacional, no programa *EnergyPlus*. Isso foi feito visando alcançar um modelo experimental o mais próximo possível do existente, de forma a aproximar o modelo das condições ambientais monitoradas durante a fase de medição para permitir melhor avaliação dos índices de conforto higrotérmico, conforme apresentado no Capítulo 3.
- E) Definição dos níveis de conforto higrotérmico, conforme a ASHRAE *Standard 55* e

EN 15.251:2007, para aplicar na escala de níveis de conforto higrotérmico indicada pelo RTQ-C.

4.1. Medições higrotérmicas *in loco*

As medições higrotérmicas *in loco* foram realizadas em três épocas: uma em fevereiro, a segunda em abril e a última no final de junho e início de julho, referentes ao período do verão, outono e a última abrangendo o solstício de inverno, para monitoramento das condições ambientais ao longo do ano e auxiliar na calibração da modelagem da edificação. Esses períodos foram espaçados com aproximadamente 45 dias de um para o outro, totalizando 12 dias cada um, sendo três dias consecutivos para cada pavimento e três medições diárias, com intervalo de 6h, no período da manhã, tarde e noite (Tabela 4.1). As variáveis ambientais monitoradas foram: a) para o lado externo: temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento, nos mesmos horários das medições internas; b) para a parte interna: temperatura do ar, temperatura média radiante, temperatura superficial de piso, teto, paredes e vidro, umidade relativa e velocidade do ar.

Tabela 4.1: Épocas do ano, dias e horários das medições realizadas por pavimento

Época do ano	Dia	Horários	Pavimento
Verão	03 a 05/02/2010	8h, 14h e 19h	Térreo
	06 a 08/02/2010	8h, 14h e 19h	1º Pavimento
	09 a 11/02/2010	8h, 14h e 19h	2º Pavimento
	24 a 26/02/2010	7h, 13h e 18h	3º Pavimento
Outono	13 a 15/04/2010	7h, 13h e 18h	Térreo
	16 a 18/04/2010	7h, 13h e 18h	1º Pavimento
	19, 20 e 22/04/2010	7h, 13h e 18h	2º Pavimento
Inverno	03 a 05/05/2010	7h, 13h e 18h	3º Pavimento
	16 a 18/06/2010	7h, 13h e 18h	Térreo
	22 a 24/06/2010	7h, 13h e 18h	1º Pavimento
	25, 26 e 28/06/2010	7h, 13h e 18h	2º Pavimento
	07 a 09/07/2010	7h, 13h e 18h	3º Pavimento

O monitoramento abrangeu dias com e sem o uso da edificação, de segunda-feira a sábado quando ocupada, e aos domingos e feriados quando desocupada. Além disso, como o edifício guarda o acervo principal da UFV e é utilizado por todos os cursos como local de pesquisa e, principalmente, para estudos, não foi possível restringir o uso e acesso dos usuários durante esses períodos. Para permitir a realização das medições,

foi adotada a estratégia de contar quantas pessoas estavam nos ambientes, antes do início e após o término das medições em cada um, para, em seguida, realizar uma média e possibilitar o cálculo de carga térmica devido à ocupação. Igualmente, adotou-se como condição de medição a situação encontrada no ambiente, ou seja, janelas e portas controladas pelos usuários e luzes acesas, que, posteriormente, foi a mesma condição utilizada para a simulação computacional.

Para cada pavimento da biblioteca, foram escolhidos dois tipos de ambientes: os ambientes de uso público com permanência prolongada de usuários, como ambientes de leitura e estudos, e os ambientes utilizados para condicionamento constante de acervo, como livros, mapas, fitas de vídeo, obras raras, coleções e material para restauração.

Em seguida, definiu-se uma malha por ambiente por meio da divisão do espaço de forma que originassem pelo menos 8 pontos em cada um dos ambientes. Para os maiores, como as áreas destinadas ao acervo, foi monitorada uma quantidade maior de pontos, definidos da mesma forma, porém a distância entre eles foi aumentada. Esta malha originou pontos verticais e horizontais, onde foram medidas as variáveis ambientais a 1,2m de altura do piso, considerando a altura média da cabeça de uma pessoa sentada, que é a posição predominante na biblioteca. Essas malhas estão exemplificadas nas Figuras 4.1 e 4.2. Nos pontos marcados em vermelho foram aferidas as temperaturas das superfícies; nos azuis a temperatura de bulbo seco do ar, a umidade relativa do ar e as temperaturas superficiais.

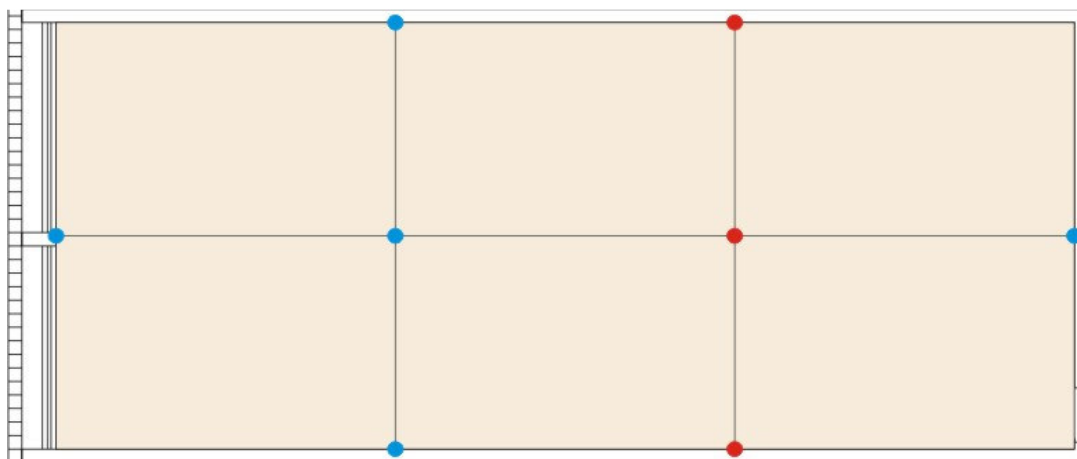


Figura 4.1: Exemplificação da malha utilizada para medição dos ambientes - Sala de Obras Raras.

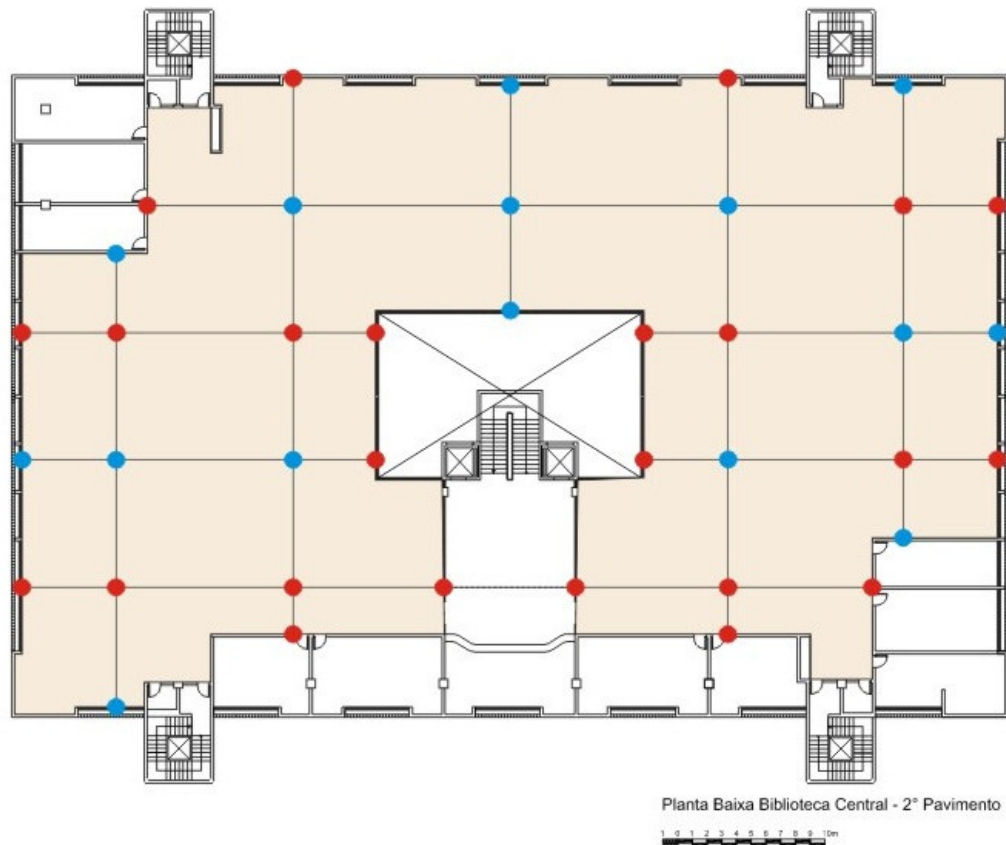


Figura 4.2: Exemplo das malhas utilizadas para as áreas de acervo – Acervo Livros 2º Pavimento.

Os equipamentos utilizados foram o higrômetro Gulton do Brasil 95, para obter a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa; o termômetro infravermelho, Instruterm TI-890, nos pontos verticais para obter as temperaturas superficiais, como piso, teto, paredes e vidros; e o termômetro de globo negro de cobre digital, Instrutemp ITWTG 2000, com precisão de $0,1^{\circ}\text{C}$ para obter a temperatura média radiante. Para a velocidade do vento foi utilizado anemômetro digital, com precisão de $0,1\text{m/s}$.

4.1.1. Calibração dos termômetros de globo negro

A calibração foi realizada entre o equipamento utilizado nas medições higrotérmicas e o de plástico usado pela UFV em relação a um termômetro de globo negro de cobre com diâmetro de 15cm, para verificar a sua imprecisão e originar as equações de correção da temperatura média radiante obtida com os termômetros. Os três equipamentos foram colocados a 1,2m de altura do piso, distantes 40cm um do outro. Foram monitorados durante 11 dias, com medições a cada 30 minutos, das 8h às 18h, resultando num total de 206 dados para cada um. Em seguida, fez-se uma análise de

regressão linear entre os dados, no programa *Minitab 14*, originando-se as equações para a correção da temperatura média radiante para o termômetro de globo negro de cobre digital e o de plástico.

4.2. Testes de pré-modelagem

4.2.1. Objetivo dos testes de pré-modelagem e programa utilizado

Os testes de pré-modelagem consistiram em simulações no programa *EnergyPlus* considerando diferentes formatos de zonas térmicas, cujo objetivo principal foi a verificação da possibilidade de simplificação da modelagem da volumetria da edificação, visto que é um edifício complexo composto de nichos e reentrâncias. Dessa forma, houve uma redução do tempo gasto com a própria modelagem e a simulação computacional. Os testes foram simulados considerando primeiramente o condicionamento natural e após, o artificial, almejando a confirmar os resultados da possibilidade de simplificação do modelo do primeiro condicionamento.

4.2.1.1. Arquivo climático usado

Para todas as simulações dos testes, utilizou-se o arquivo climático da cidade de Florianópolis - SC, que está na Zona Bioclimática 3 (ABNT,2005), a mesma da cidade de Viçosa, já que o arquivo climático para esta última estava em desenvolvimento na época da realização dos testes, e a cidade de Florianópolis apresenta características climáticas semelhantes às de Viçosa.

4.2.1.2. Tipos de testes e variáveis da modelagem

Os testes consistiram em dois tipos: a) simulação em protótipos com diferentes volumetrias e configurações; e b) simulação de uma sala da própria edificação a partir dos resultados obtidos com o tipo “a”. Os testes do primeiro tipo são: 1.a) volumetria com variação na altura do pé-direito e quantidade de zonas térmicas; 1.b) repetição do primeiro caso, em que o pé-direito total foi aumentado de 5,0m para 6,5m com o objetivo de verificar se os resultados seriam os mesmos do primeiro teste; e 1.c) diferentes configurações de planta (Tabela 4.2).

Tabela 4.2: Tipos de testes e numeração

Testes	Descriminação do teste
1.a	Volumetria com variação na altura do pé-direito e quantidade de zonas térmicas
1.b	Repetição do caso "a" com pé-direito ampliado de 5m para 6,5m
1.c	Diferentes configurações de planta-baixa
b	Modelagem com uma sala da biblioteca a partir dos resultados de "a"

Os protótipos foram simulados mediante análise da carga térmica gerada pela envoltória considerando dois tipos de condicionamento: o natural (ventilação natural) e o artificial (sistema de condicionamento de ar). A orientação solar escolhida foi a NO-SO, por ser a maior insolação nos ambientes de uso de armazenamento do acervo e áreas destinadas a uso público para estudos e leituras. A orientação solar NE-NO não foi utilizada, para a simulação dos protótipos por ser a lateral da edificação em que estão localizadas as instalações sanitárias. Não há outro tipo de ambiente nesta orientação.

Todos os protótipos foram modelados com os mesmos materiais utilizados para a construção da biblioteca central da UFV, e os valores utilizados para as propriedades foram retirados da NBR 15.220 (ABNT, 2005) (Tabela 4.3). Também foi mantida a mesma área de janelas. A diferença entre cada tipologia testada é dada somente pela variação entre a altura do pé-direito e a quantidade de zonas térmicas, o que reflete no volume interno.

Tabela 4.3: Característica dos materiais utilizados nos casos

Material	Propriedades				
	Condutividade (W/m.k)	Densidade (kg/m ³)	Calor Específico (J/kg.k)	Absortância Solar	Resistência Térmica (m ² .K/W)
Concreto	1,75	2200	1000	0,3	0,057
Tijolo cerâmico	1,05	2000	920	0,2	
Argamassa	1,15	2000	1000	0,3	
Telha fibrocimento	0,95	1900	840	0,7	
Forro	0,04	15	1420	0,1	
Câmara de ar de alta emissividade, espessura >5,0 cm - fluxo descendente					0,21

Para o condicionamento natural, acrescentou-se uma taxa de infiltração de duas trocas de ar por hora, configuradas para o horário em que as aberturas estivessem fechadas, definidos através do *ZoneInfiltration:DesignFlowRate*. Depois, foi inserida uma ventilação fixa para os ambientes, com área de abertura de janelas de 4m², modeladas no *ZoneVentilation:WindandStackOpenArea*, para se abrirem acima da

temperatura interna de 20°C.

Já para o artificial, foi utilizado o modelo de bomba de calor, definido por meio do *HVACTemplate:System:UnitaryHeatPump:AirToAir*, modelados com coeficiente de desempenho (*coefficient of performance*, COP) de 3,21 W/W, que equivale à eficiência energética nível A, de acordo com o PBE (BRASIL, 2010) com temperaturas de *setpoint* de 18°C para o aquecimento e 24°C para o resfriamento, com horário de funcionamento do sistema de 8h às 24h em todos os dias da semana, como normalmente ocorre na biblioteca.

4.2.1.3. Dados analisados

Para os resultados, consideraram-se os dados de saída: temperatura do ar externa, temperatura interna média e os ganhos internos totais por metro quadrado de área de fachada exposta à radiação solar, em W/m², para cada zona térmica. Para o condicionamento natural, os dados de saída foram a temperatura interna média e o consumo energético, em kWh. Esses resultados foram gerados e analisados por zona térmica, em gráficos, a cada dois meses, por períodos de sete dias consecutivos. Em seguida, calcularam-se os ganhos térmicos totais e o consumo energético de cada protótipo, por meio de somatório dos dados gerados pelo *EnergyPlus* em planilha eletrônica. Com esse dado final, fez-se teste estatístico para verificar a hipótese de igualdade entre os protótipos de cada tipo de teste: 1.a, 1.b, 1.c e b.

4.2.1.4. Tratamento estatístico

O tratamento estatístico foi aplicado com o objetivo de confirmar os resultados obtidos com o somatório dos ganhos térmicos totais e o consumo energético dos protótipos, considerando-se que o resultado adquirido por meio do somatório só quantifica a diferença entre os modelos, quando esta é muito alta. O teste estatístico deste resultado é indicado para verificar as diferenças mínimas entre os casos.

Os testes estatísticos foram realizados no programa *Minitab 14*, por meio de ANOVA e regressão linear. Para a definição da amostra, somaram-se os ganhos térmicos diários em ganhos térmicos mensais, de todos os meses do ano, totalizando-se as amostras com $n=12$. Como os dados analisados foram com referência em ganhos térmicos totais (W/m²) para o condicionamento natural e em consumo de energia (kWh) para os condicionados artificialmente, os dados possuem uma grande variação e

amplitude em relação às estações do ano, como verão e inverno, e, por isso, o modelo estatístico foi instalado segundo o Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), que “é utilizado quando se têm duas fontes conhecidas de variação sobre a variável resposta Y , identificadas no experimento. A primeira fonte de variação se refere ao fator de interesse A , e a segunda a um fator perturbador B . Nesse caso, os t níveis de τ (tratamentos) são casualizados nos r níveis de β (blocos) com uma restrição, ou seja, de que todos eles sejam casualizados em nível β_j (bloco j) uma única vez e separadamente por bloco” (RIBEIRO JÚNIOR, 2009). O DBC é dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{Eq. (4.1)}$$

em que: Y_{ij} - é a observação que recebeu o i -ésimo tratamento no j -ésimo bloco;

μ - é a média geral comum a todas as observações;

β - é o efeito do caso;

τ_i - é o efeito do mês;

ε_{ij} - é o efeito do erro aleatório.

Para a realização dos testes, estabeleceu-se uma hipótese de igualdade entre os casos (as populações), dada por: $H_o : \mu_x - \mu_y = 0$, em que μ_x é a média geral do caso de referência e μ_y é a média geral do caso em comparação. Se essa hipótese for satisfeita, verdadeira, a igualdade entre as populações é comprovada, caso contrário, há diferença entre elas. Para a ANOVA, fez-se o teste de Dunnett, que consiste em avaliar os contrastes que envolvem a testemunha. “Podem ser utilizados quando as únicas comparações que interessam são aquelas feitas entre um determinado tratamento padrão (testemunha) com cada um dos demais tratamentos, não havendo interesse na comparação dos demais tratamentos entre si” (RIBEIRO JÚNIOR, 2009). A análise de regressão foi aplicada para confirmar o resultado da ANOVA por meio da visualização de gráficos de dispersão e correlação (R^2).

Para a interpretação dos resultados, considerou-se o intervalo de confiança de 95% e o p-valor calculado. Além disso, para comprovação da hipótese estabelecida, o intervalo de confiança dos casos deve incluir o valor zero. Depois, analisou-se o p-valor calculado, que deve ser maior que α (0,05), confirmando, então, a hipótese de igualdade sugerida pelo intervalo de confiança. Além disso, o desvio-padrão deve possuir um valor baixo, o que indica uma amostra homogênea. Para os gráficos, analisaram-se os

ganhos térmicos internos da envoltória para a ventilação natural e o consumo energético interno para o condicionamento artificial, por meio da verificação do comportamento das linhas. Para o primeiro tipo de sistema de ventilação, adotou-se como referência a zona intermediária de cada protótipo, já que a inferior sofre interferência do comportamento do solo, e a superior, da cobertura. Para o segundo tipo, foram analisados todos os pavimentos.

4.2.2. Casos com diferentes alturas de pé-direito (1.a)

Esses testes consistiram em analisar a influência da camada de ar entre o forro e a laje dos ambientes da edificação, devido à sua grande espessura, 1,5 m. Para isso, os protótipos criados foram constituídos de ambientes de volumetria em prisma retangular, localizados em planta, como se estivessem em uma das laterais da edificação. Além disso, para aproximar do caso real, foram simulados com três pavimentos e inseridos mais dois ambientes, um em cada lateral da sala para permitir a insolação direta em apenas duas fachadas.

Foram constituídos três protótipos: a) Protótipo 1: com duas zonas térmicas: uma com altura do piso até o forro, de 3,5m, e a segunda com a altura do forro até a laje, de 1,5m; b) Protótipo 2: com uma zona térmica com a altura total do pé-direito de 5m; c) Protótipo 3: com uma zona térmica com altura do piso até o forro, de 3,5m, conforme Figuras 4.3 a 4.5. Os protótipos foram modelados com três pavimentos, pois a biblioteca possui térreo recuado em relação aos pavimentos superiores, e com configuração de planta dos ambientes internos e aberturas de janelas diferentes dos outros pavimentos.

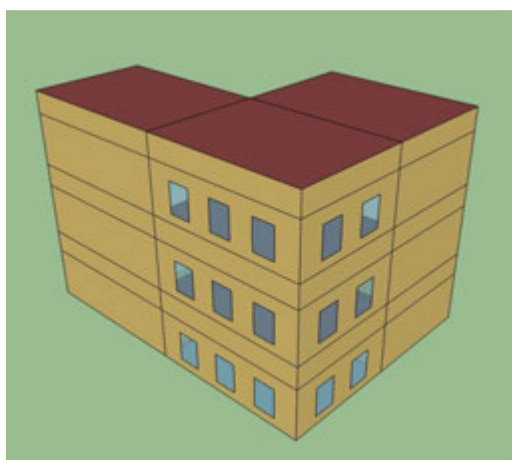


Figura 4.3: Protótipo 1: zona 1 com altura do piso até o forro, de 3,5m, e a zona 2 com altura do forro até a laje, de 1,5m.

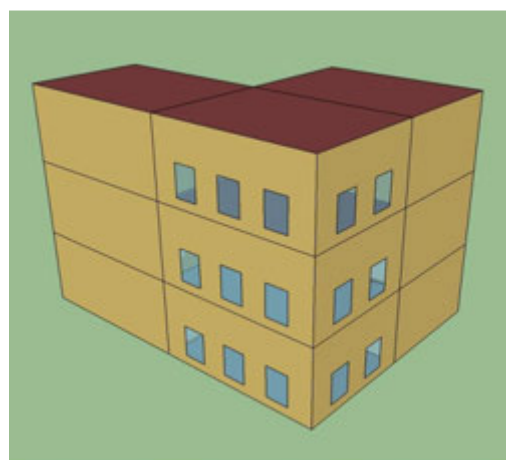


Figura 4.4: Protótipo 2: uma zona térmica com pé-direito total de 5m.

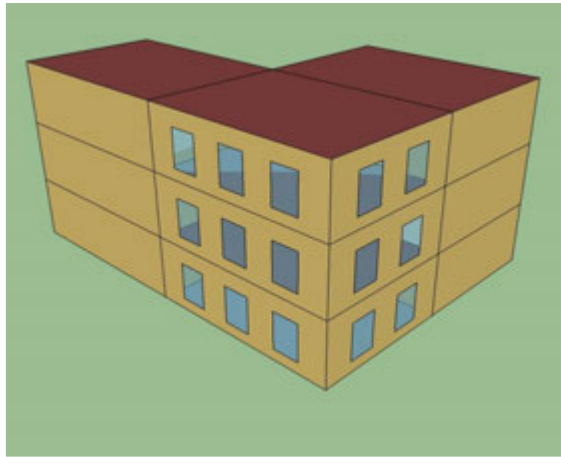


Figura 4.5: Protótipo 3: uma zona térmica com pé-direito total de 3,5m.

Para os testes estatísticos aplicados descritos na subseção 4.2.1.4, considerou-se que o protótipo 1 é o mais preciso, utilizado como parâmetro de comparação entre os demais, uma vez que representa como é realmente o interior da edificação, subdividido em duas partes: o ambiente de uso, do pé-direito ao forro; e do forro até a laje.

4.2.3. Casos com aumento na altura do pé-direito total (1.b)

Esses protótipos foram constituídos com a mesma volumetria e modelagem do caso 1.a, com diferentes alturas de pé-direito. A única diferença foi a modificação da altura do pé-direito total de 5m para 6,5m. O principal objetivo foi analisar se com esse aumento do pé-direito e, conseqüentemente com o aumento do volume interno de ar, os resultados dos testes estatísticos seriam diferentes daqueles dos testes realizados com os casos da subseção 4.2.2. Os três protótipos considerados foram: a) Protótipo 1: com duas zonas térmicas: com altura do piso até o forro, de 5m, e com a altura do forro até a laje, de 1,5m; b) Protótipo 2: com uma zona térmica com a altura total do pé-direito, de 6,5m; c) Protótipo 3: com uma zona térmica com altura do piso até o forro, de 5m (Figuras 4.6 a 4.8). Para a realização desses testes estatísticos, considerou-se que o protótipo 1 é o mais preciso, sendo adotado como parâmetro de comparação entre os demais.

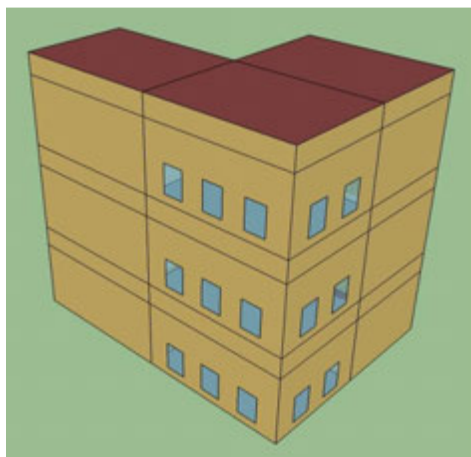


Figura 4.6: Protótipo 1: a primeira zona com altura do piso até o forro, de 5m, e a outra com altura do forro até a laje, de 1,5m.

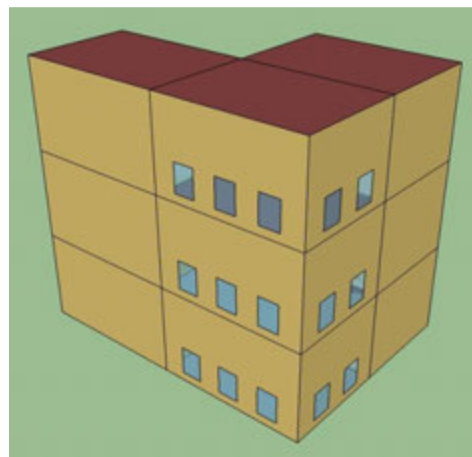


Figura 4.7: Protótipo 2: uma zona térmica com pé-direito total de 6,5m.

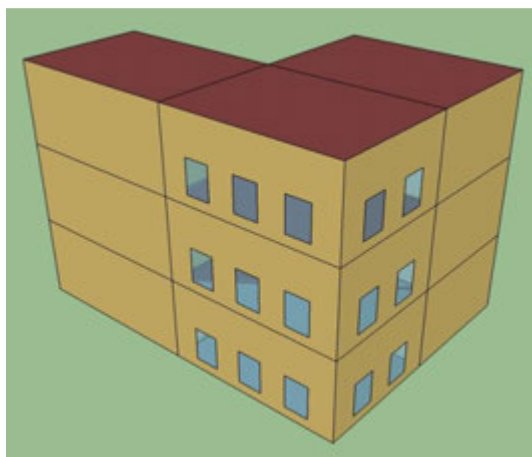


Figura 4.8: Protótipo 3: uma zona térmica com pé-direito total de 5m.

4.2.4. Casos com diferentes configurações de planta baixa (1.c)

Para esses testes, buscou-se analisar se as reentrâncias definidas em planta, que originam os volumes das fachadas, geram diferenças nos ganhos térmicos totais de um edifício quando comparados com uma planta com volume em prisma retangular simples, sem esses volumes. Os primeiros, muitas vezes são projetados com o objetivo de viabilizar maior número de ambientes em um mesmo pavimento, por meio da possibilidade de localizar aberturas de janelas nas fachadas, sem a necessidade de criar poço de ventilação e iluminação natural, além de gerar aspecto de movimento nas fachadas, que foi o motivo da estratégia adotada para a edificação em estudo.

O objetivo desses testes foi buscar a simplificação da modelagem da volumetria da edificação em planta. Para isso, foram criados vários protótipos com volumetrias

similares às dos edifícios normalmente encontrados, de forma que os resultados alcançados para aplicação direta nessa pesquisa sirvam para outros edifícios. Esses protótipos foram criados com três ambientes em planta: dois com aproximadamente mesma área, e outro com área igual à soma das áreas dos dois primeiros. Além disso, foram dispostos de forma a permitir a radiação solar em duas fachadas, para os ambientes menores, e em três para o maior. As volumetrias propostas para os protótipos foram além das encontradas na biblioteca, pois procurou-se abranger a maior quantidade de variações feitas a partir dos detalhes encontrados na edificação, como os resultados indicados por Carlo (2008).

Para cada tipologia, foram calculados o perímetro, a área útil, o volume, a área de fachada exposta à radiação e a área de fachada total. A partir disso, calcularam-se a razão entre a área de fachada exposta e o volume para cada ambiente, e a razão entre a área de fachada exposta e o volume total dos três ambientes juntos, totalizando em uma constante única para cada protótipo. Para a simulação, foram escolhidos alguns casos de acordo com o valor da razão calculada, sempre em comparação com o obtido para o Protótipo 1, sem recortes, de razão 0,19. Procurou-se escolher pelo menos um protótipo de cada porcentagem de razão calculada, para verificar a maior possibilidade de igualdade e variação em área e volume. A partir disso, os protótipos escolhidos para simulação foram o A, B, C, D, F, G, I, L, M, N, O, denominados 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11, respectivamente, conforme Tabela 4.4, para facilitar o tratamento estatístico, de acordo com os dados da Figuras 4.9 a 4.19 e com a Tabela 4.4.

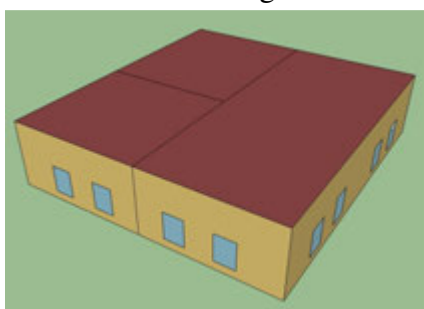


Figura 4.9: Protótipo 1.

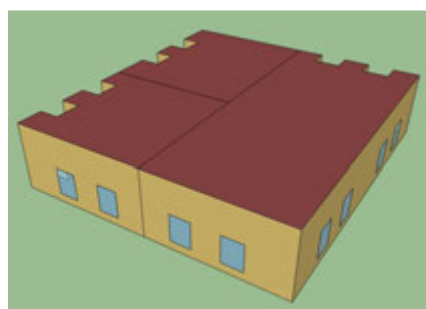


Figura 4.10: Protótipo 2.

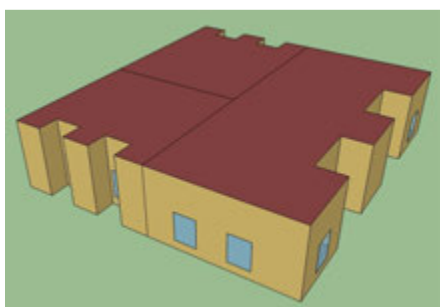


Figura 4.11: Protótipo 3.

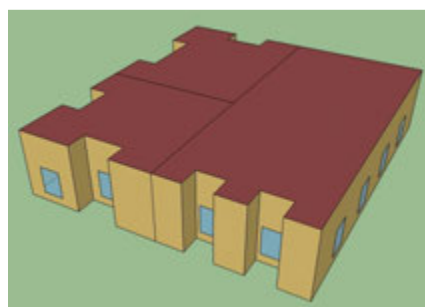


Figura 4.12: Protótipo 4.

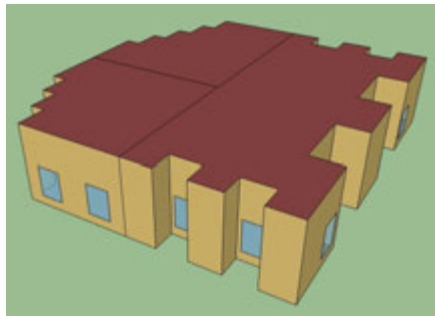


Figura 4.13: Prototipo 5.

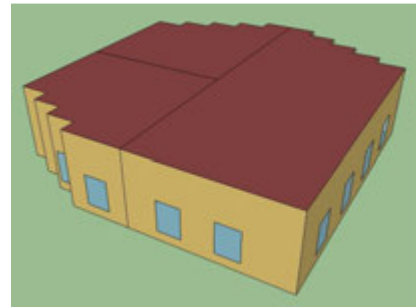


Figura 4.14: Prototipo 6.

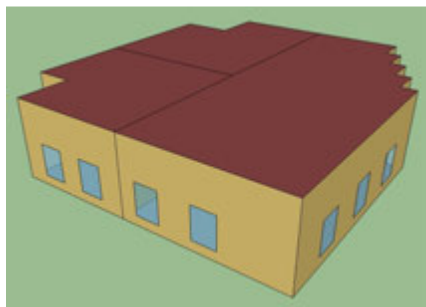


Figura 4.15: Prototipo 7.

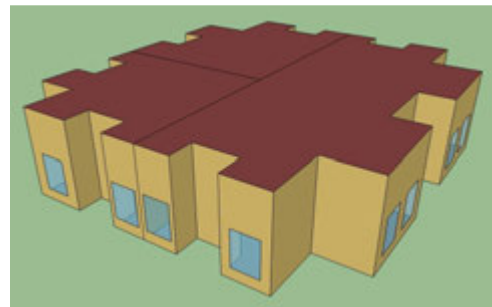


Figura 4.16: Prototipo 8.

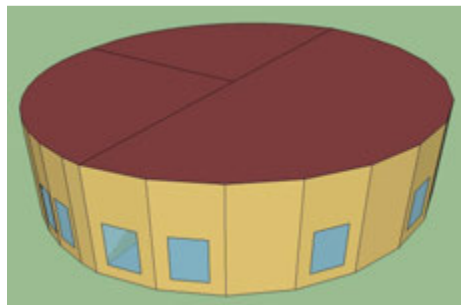


Figura 4.17: Prototipo 9.

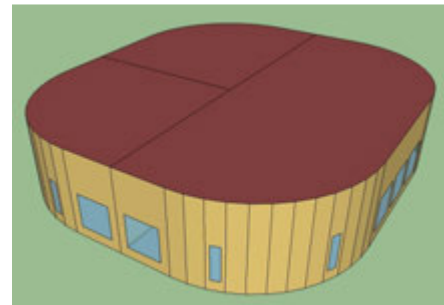


Figura 4.18: Prototipo 10.

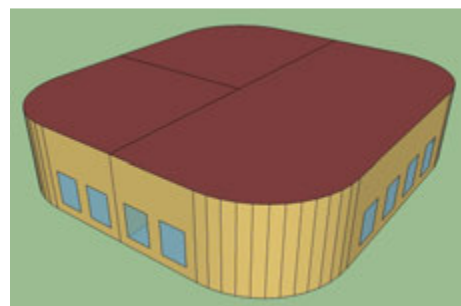


Figura 4.19: Prototipo 11.

Tabela 4.4: Cálculo da razão entre a área de fachada externa e o volume por protótipo

Razão em Área de Fachada Externa e o Volume por Protótipo								
Prot.	Ambiente	Área (m ²)	Pé-direito (m)	Volume (m ³)	A Fachada Externa (m ²)	A Fachada/Volume	A Fachada/Volume por Prot.	ID
A	A1	100,00	5,0	500,00	100,00	0,2000	0,1909	1
	A2	120,00	5,0	600,00	110,00	0,1833		
	A3	220,00	5,0	1100,00	210,00	0,1909		
B	B1	94,00	5,0	470,00	130,00	0,2766	0,2417	2
	B2	114,00	5,0	570,00	140,00	0,2456		
	B3	214,00	5,0	1070,00	240,00	0,2243		
C	C1	94,00	5,0	470,00	130,00	0,2766	0,2524	3
	C2	114,00	5,0	570,00	140,00	0,2456		
	C3	204,00	5,0	1020,00	250,00	0,2451		
D	D1	91,00	5,0	455,00	130,00	0,2857	0,2470	4
	D2	108,00	5,0	540,00	140,00	0,2593		
	D3	214,00	5,0	1070,00	240,00	0,2243		
E	E1	91,00	5,0	455,00	130,00	0,2857	0,2654	
	E2	108,00	5,0	540,00	140,00	0,2593		
	E3	208,00	5,0	1040,00	270,00	0,2596		
F	F1	88,00	5,0	440,00	100,00	0,2273	0,2737	5
	F2	100,00	5,0	500,00	110,00	0,2200		
	F3	192,00	5,0	960,00	310,00	0,3229		
G	G1	88,00	5,0	440,00	100,00	0,2273	0,2165	6
	G2	100,00	5,0	500,00	110,00	0,2200		
	G3	200,00	5,0	1000,00	210,00	0,2100		
H	H1	91,25	5,0	456,25	100,00	0,2192	0,2105	
	H2	107,75	5,0	538,75	110,00	0,2042		
	H3	200,00	5,0	1000,00	210,00	0,2100		
I	I1	91,25	5,0	456,25	100,00	0,2192	0,2105	7
	I2	107,75	5,0	538,75	110,00	0,2042		
	I3	200,00	5,0	1000,00	210,00	0,2100		
J	J1	91,25	5,0	456,25	100,00	0,2192	0,2105	
	J2	107,75	5,0	538,75	110,00	0,2042		
	J3	200,00	5,0	1000,00	210,00	0,2100		
K	K1	85,00	5,0	425,00	130,00	0,3059	0,2588	
	K2	102,00	5,0	510,00	140,00	0,2745		
	K3	184,00	5,0	920,00	210,00	0,2283		
L	L1	85,00	5,0	425,00	130,00	0,3059	0,2861	8
	L2	102,00	5,0	510,00	140,00	0,2745		
	L3	183,50	5,0	917,50	260,00	0,2834		
M	M1	78,54	5,0	392,70	78,50	0,1999	0,1919	9
	M2	95,05	5,0	475,25	86,85	0,1827		
	M3	168,63	5,0	843,15	163,05	0,1934		
N	N1	89,48	5,0	447,40	85,00	0,1900	0,1809	10
	N2	109,48	5,0	547,40	95,00	0,1735		
	N3	198,97	5,0	994,85	180,00	0,1809		
O	O1	94,63	5,0	473,15	89,25	0,1886	0,1802	11
	O2	114,63	5,0	573,15	99,25	0,1732		
	O3	209,27	5,0	1046,35	188,50	0,1802		

Para cada protótipo, foram feitas quatro simulações rotacionando a volumetria a cada 90°, através do *Compliance:Building*, em conformidade com a *ASHRAE Standard 90.1*, sendo os ângulos de rotação 0°, 90°, 180° e 270° para as orientações norte, leste, sul e oeste, respectivamente. Para cálculo dos ganhos térmicos e do consumo energético totais, geraram-se os gráficos de linhas para cada orientação e analisou-se o comportamento de cada uma. A partir disso, os dados de todas as orientações foram somados e depois retirada a média, obtendo-se, então, os ganhos médios totais de cada protótipo.

Para os testes estatísticos, considerou-se o Protótipo 1 (sem recortes) como o parâmetro de comparação entre os demais, visto que se os outros, com recortes, forem estatisticamente iguais ao primeiro, a modelagem dos ambientes pode ser simplificada, alcançando-se o objetivo de reduzir o tempo gasto com a modelagem e a simulação computacional.

4.2.5. Estudo realizado com uma sala da biblioteca (b)

Este teste foi o último realizado e consistiu na modelagem de uma sala da própria edificação para validar os resultados de todos os testes dos casos anteriores. Como em edifícios condicionados naturalmente, todos os protótipos testados da subseção 4.2.2 foram diferentes estatisticamente, ou seja, as zonas térmicas internas, modeladas com variação na altura do pé-direito, foram diferentes e não podem ser simplificados para somente uma zona térmica. Portanto, os testes dessa subseção foram todos modelados com duas zonas térmicas, e a análise estatística realizada foi somente para verificar a possibilidade de simplificação das reentrâncias da fachada e, conseqüentemente a volumetria dos ambientes em planta-baixa. Os três protótipos considerados foram: a) protótipo 1: modelado com duas zonas térmicas e todos os volumes das fachadas como existente na edificação; b) protótipo 2: modelado com duas zonas térmicas sem os volumes das fachadas, considerando-se para modelagem o limite externo das paredes dos volumes; c) protótipo 3: modelado com duas zonas térmicas sem os volumes das fachadas, considerando-se para modelagem o limite interno das paredes dos volume (Figuras 4.20 a 4.22).

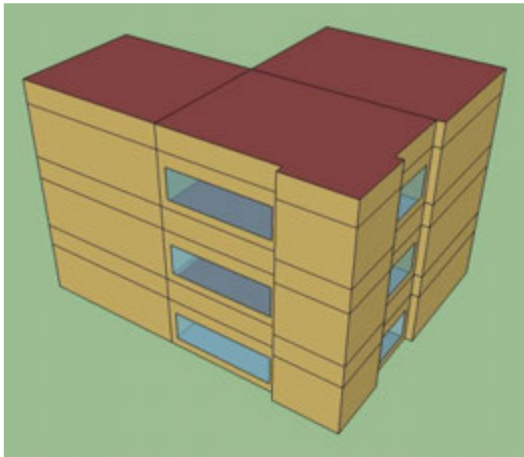


Figura 4.20: Protótipo 1: duas zonas térmicas e todos os volumes das fachadas da edificação.

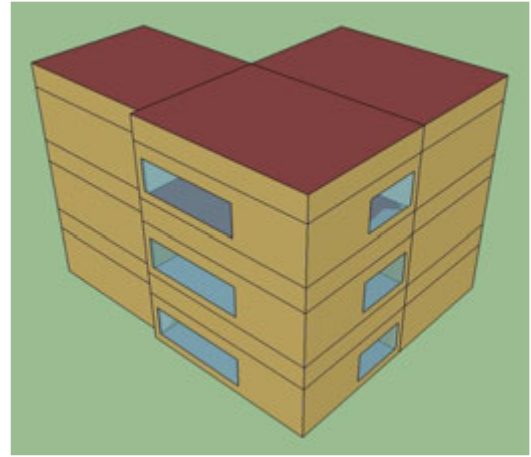


Figura 4.21: Protótipo 2: duas zonas térmicas sem os volumes das fachadas, sendo o limite externo das paredes dos volumes considerado para modelagem.

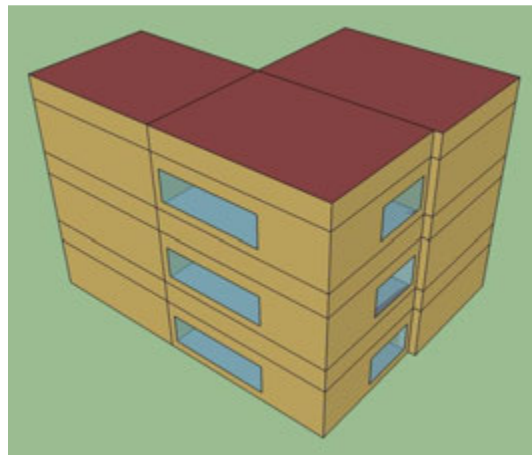


Figura 4.22: Protótipo 3: duas zonas térmicas sem os volumes das fachadas, sendo o limite interno das paredes dos volumes considerado para modelagem.

4.3. Modelagem do edifício usado como estudo de caso

Para a modelagem da Biblioteca Central da UFV, procurou-se manter as características encontradas na edificação, como altura de pé-direito, tipos de materiais utilizados para a construção, as cargas instaladas e principalmente os usos dos ambientes. Para permitir esta percepção, foram realizados vários *walkthrough* e *as built* do edifício, muitas vezes para confirmar os dados e características encontrados no projeto e nos levantamentos anteriores.

4.3.1. Variáveis da modelagem

4.3.1.1. Volumetria

A modelagem volumétrica da edificação foi realizada mantendo-se todos os detalhes em planta, como indicaram os resultados dos testes pré-modelagem na seção 5, com duas zonas térmicas internas, uma com a altura do piso até o forro e outra deste último à laje, já que será necessária etapa de calibração, devido às medições higtérmicas realizadas. Não houve simplificação por meio do agrupamento de zonas destinadas aos depósitos de material de limpeza, que não foram avaliadas nesta pesquisa. Os *brise-soleil* foram modelados como os existentes, em alumínio, e os ângulos de rotação utilizados foram definidos pela sua predominância e por fachada. Para a fachada NO, o ângulo de rotação foi de 80°, considerando, sempre, como referência inicial o peitoril da janela e sentido anti-horário; para a fachada NE o ângulo foi de 135°, para a fachada SE, 45° e, a fachada SO, 125°. Para os diversos tipos de coberturas, buscou-se a representação de como se encontraram as do edifício real, havendo simplificação apenas na cobertura translúcida do átrio central, que era curvo e foi modelado plano, devido a sua complexidade (Figuras 4.23 a 4.26).

Para a modelagem do átrio central e escadas de emergência, conforme subseção 2.3.3.1, foram apresentados diversos tipos de modelos utilizados para átrios e caixas de escadas. Apesar disso, o método proposto por Mehta (2005), de apenas uma zona térmica, e o proposto por Pan *et al.* (2010), de subdivisão do átrio em duas zonas térmicas verticais, não se mostraram viáveis para esta pesquisa, pois as simulações foram realizadas para um período somente de duas horas, o que não ocorre para o presente caso. Há necessidade de simular para todo o ano, 8.760 horas, por causa da etapa de calibração do modelo, o que poderia influenciar no cálculo de carga térmica e das temperaturas internas, alterando conseqüentemente os níveis de conforto. Além disso, o método proposto por Pan *et al.* (2010) considera edifício condicionado, o oposto ao deste estudo, em que há o predomínio de ventilação natural e é mais complexo. Isso implica obrigatoriamente o uso de maior quantidade de zonas térmicas, excluindo, também, o método de Mehta, mesmo que tenha sido proposto para ventilação natural. A partir disso, excluiu-se, também, o modelo proposto por Zhu *et al.* (2007), que adotaram várias zonas térmicas subdivididas de acordo com o gradiente de temperatura, devido às dificuldades de definição deste, pois, para isso, seria necessário

realizar mais simulações, o que aumentaria o tempo gasto e o objetivo era reduzi-lo.

Sendo assim, definiu-se para a modelagem do átrio central e das caixas de escadas de emergência da biblioteca o modelo adotado por Kohri (2003), que utilizou o modelo de rede simplificado para análise de fluxos de ar nos átrios dos edifícios. A modelagem, portanto, foi subdividida em três zonas térmicas, todas com ventilação natural: uma para o pavimento térreo, outra abrangendo o primeiro e segundo pavimentos, e uma última para o terceiro pavimento, devido à proximidade da cobertura translúcida, no caso do átrio central, e da laje de cobertura no caso das escadas.

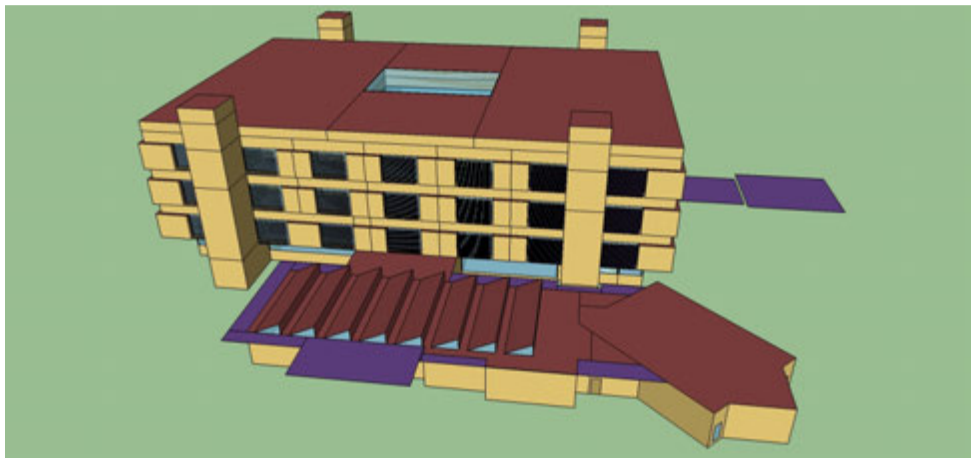


Figura 4.23: Edifício real modelado. Fachada principal, vista SO.

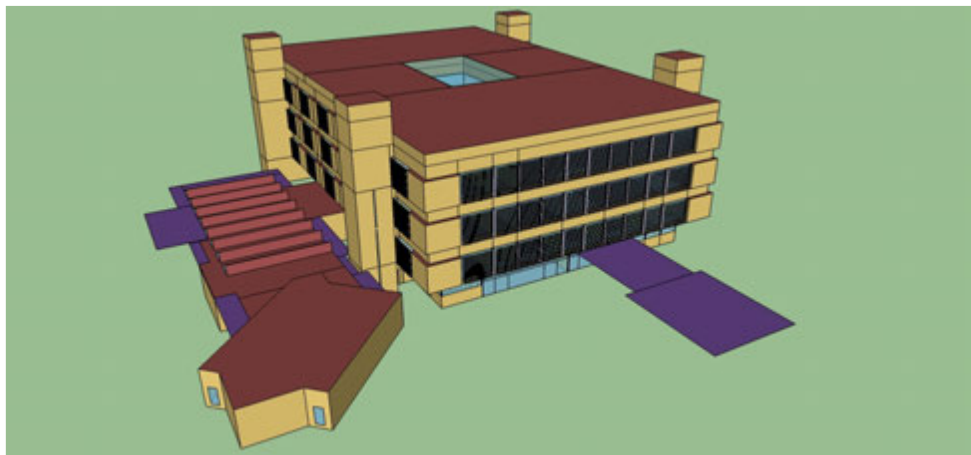


Figura 4.24: Edifício real modelado. Fachada lateral direita, vista SE.

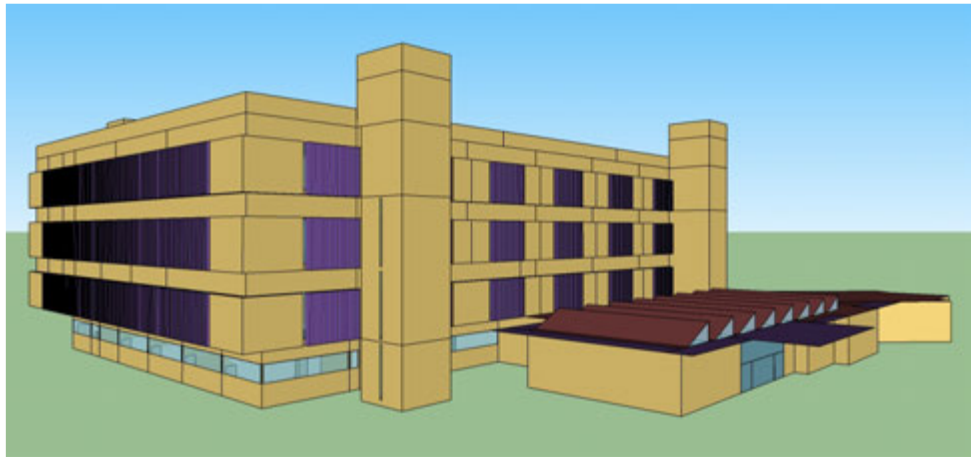


Figura 4.25: Edifício real modelado. Vista da fachada principal e lateral esquerda (vista NO).



Figura 4.26: Edifício real modelado. Vista da fachada lateral direita e posterior (vista NE).

4.3.1.2. Materiais utilizados

As propriedades térmicas dos materiais utilizados para a modelagem da biblioteca foram obtidas na NBR 15.220 (ABNT, 2005) (Tabela 4.5). Para os vidros das janelas, foi utilizado o padrão pré-definido do *EnergyPlus* para vidro incolor de 3mm e, para a cobertura zenital do átrio foi utilizado o policarbonato incolor.

4.3.1.3. Carga dos equipamentos elétricos e lâmpadas

As cargas térmicas internas utilizadas para o modelo foram definidas de acordo com o *walkthrough* realizado. Foram desconsiderados para a modelagem os aparelhos de condicionamento de ar, como os de janela e os *splits*, pois somente 6 ambientes

utilizam o sistema de condicionamento de ar artificial, sendo eles: auditório (que não foi analisado), dois cofres para guarda de acervo, diretoria, sala de videoconferência e sala de catalogação (seu uso não é constante). A iluminação artificial é feita por luminárias com duas lâmpadas fluorescentes tubulares T8 (32W/lâmpada) e reatores. Para o dimensionamento da potência, considerou-se um reator para cada duas luminárias. Na Tabela 4.6 estão apresentados os equipamentos e potência (W) utilizados. As cargas totais dos equipamentos modeladas por zonas térmicas estão indicadas na Tabela 4.7 e aquelas devido à iluminação artificial, na Tabela 4.8.

Tabela 4.5: Características dos materiais utilizados nos casos

Material	Propriedades				Resistência Térmica (m ² .K/W)
	Condutividade (W/m.k)	Densidade (kg/m ³)	Calor Específico (J/kg.K)	Absortância	
Concreto	1,75	2200	1000	0,3	0,057
Tijolo cerâmico	1,05	2000	920	0,2	
Argamassa	1,15	2000	1000	0,3	
Telha fibrocimento	0,95	1900	840	0,7	
Forro	0,04	15	1420	0,1	
Bloco concreto celular	0,17	400	1000	0,9	
Madeira	0,14	600	230	0,9	
Cerâmica	0,9	1600	920	0,9	
Argila expandida	0,16	400	840	0,9	
Ferro	55	7800	460	0,9	
Alumínio	230	2700	880	0,2	
Telha zinco	112	7100	380	0,9	
Lã de rocha	0,045	100	750	0,9	
Polycarbonato Incolor	0,2	1400	1000	0,9	
Câmara de ar de alta emissividade, espessura entre 2,0 e 5,0cm -fluxo descendente					0,18
Câmara de ar de alta emissividade, espessura >5,0cm - fluxo descendente					0,21

Tabela 4.6: Equipamentos e potência utilizados

Equipamento	Potência (W)	Equipamento	Potência (W)
Aparelho de DVD	12	Impressora	20
Aparelho de Vídeo	50	Liquidificador	1500
Bebedouro	154	Máquina de fotocópia	210
Cafeteira Elétrica	100	Micro-ondas	700
Computador	100	Sanduicheira	70
Estufa	540	Scanner	3
Forno Elétrico	2400	Televisão	75
Freezer horizontal	124	Ventilador	70
Geladeira	100		

Tabela 4.7: Equipamentos e potência utilizados por zona térmica

Ambiente - Zona Térmica	Potência Total (W)	Ambiente - Zona Térmica	Potência Total (W)
Restauração	260	Seleção e aquisição de livros	990
Referência	600	Catálogo I	633
Reserva	908	Catálogo II	633
Atendimento Reserva	470	Intercâmbio	170
Circulação funcionários	154	Estudos individuais	100
Zeladoria	2645	Estudos em grupo	300
Portaria Lateral	100	Laboratório de línguas	300
WC Funcionário Feminino	70	Máquinas de fotocópias	2320
Copa	1840	Biblioteca da ONU	120
Máquinas Elevador	2000	Sist. Bras. Informação do Café	440
Apoio Administrativo	290	Multimídia	572
Secretaria Direção	310	Laboratório Mapoteca	590
Comut	593	Equipamentos de rede e internet	600
Sala estudos 2° Grau	500	Acervo livros A	400
Livraria e Lanchonete	6740	Acervo livros B – 2° pavimento	300
Diretoria	310	Acervo livros C – 2° pavimento	300
Videoconferência	407	Acervo livros D – 2° pavimento	400
Terminais de consulta	1600	Acervo livros E – 2° pavimento	400
Circulação livraria/lanchonete	248	Hall de empréstimos de livros	670
Administração e Depósito Livraria	490	Sala TV e Vídeo	137
Equipamentos projeção	1500	Acervo periódicos (estudos grupo) – 3° pavimento	400
Máquinas Auditório	2000	Depósito de livros não utilizados	100
Auditório	162	Hall de empréstimos de periódicos	370

4.3.1.4. Carga devida à ocupação

As cargas internas devidas à ocupação foram definidas com base na quantidade de pessoas encontradas em cada zona térmica durante a fase de monitoramento das condições higrotérmicas e o *walkthrough*. Para os ambientes de uso público, obteve-se a média de cada período (verão, outono e inverno), segundo o horário de medição (manhã, tarde e noite). Para os outros, fez-se um levantamento da quantidade de funcionários. Assim, as *schedules* utilizadas como parâmetros para o modelo, para uso público, consistiram basicamente em dividir o ano em três épocas, diferenciadas por densidade de ocupação: a maior, durante o período letivo; a menor, da segunda quinzena do mês de julho até o início de agosto; e outra para o período das férias escolares de dezembro até o final de fevereiro do ano seguinte, a época mais vazia, situação em que os usuários são basicamente estudantes integrantes de projetos de pesquisa e de pós-graduação. Quanto as de uso de funcionários, foram definidas de acordo com os diferentes horários de trabalho, como apresentados na subseção 4.3.1.5.

Tabela 4.8: Potência de iluminação utilizada por zona térmica

Ambiente - Zona Térmica	Potência		Potência Total (W)
	Total (W)	Ambiente - Zona Térmica	
Recebimento	1020	Circulação 1º Pavimento	4180
Restauração	1700	CPD	260
Referência	6620	Obras Raras	2640
Reserva	6120	Estudos Individuais Maiores	1530
WC Reserva	260	Estudos Individuais Menores	510
Atendimento Reserva	1530	Estudos em Grupo	2550
Depósito	260	Corredores Laterais de Acesso	340
Almoxarifado	850	Máquinas de Fotocópias	2720
Circulação Funcionários	1190	Biblioteca da ONU	1530
Intercâmbio (Térreo)	1280	Sist. Bras. Informação Café	2550
Zeladoria	510	Equipamentos de rede e internet	260
Circulação Interna perto Reserva	2130	Multimídia	1870
Portaria Lateral	1500	Cofre material de multimídia	260
WC Funcionários e Referência	170	Mapoteca	2380
Depósito Equipamentos Obsoletos	1280	Laboratório Mapoteca	1620
Copa	260	Acervo livros A – 2º pavimento	9270
Máquinas Elevador	90	Acervo livros B – 2º pavimento	8500
Apoio Administrativo	850	Acervo livros C – 2º pavimento	8500
Secretaria Direção	90	Acervo livros D – 2º pavimento	8500
Comut	1620	Acervo livros E – 2º pavimento	9270
Circulação Interna perto Diretoria	3830	Hall de empréstimos de livros	2640
Sala estudos 2º Grau	6290	Videoteca	1530
Livraria e Lanchonete	3320	Sala TV e Vídeo	1530
Diretoria	1020	PS	1530
WC Diretoria	90	Depósitos livros não utilizados	1020
Corredor Interno Hall Elevadores	850	Acervo periódicos B – 3º pavimento	11196
Videoconferência	1530	Acervo periódicos C – 3º pavimento	5599
Terminais de consulta	1840	Acervo periódicos D – 3º pavimento	11196
Circulação livraria/lanchonete	90	Acervo periódicos (estudos grupo) – 3º pav.	5599
WC Livraria	260	Sala de braile	2550
Administração e Depósito Livraria	260	Aquisição 3º pavimento	2550
Equipamentos projeção	170	Depósito de livros não utilizados	2550
Máquinas Auditório	170	Hall de empréstimos de periódicos	2640
WC do 1º, 2º e 3º pavimentos	510	Jornal Minas Gerais	1280
Depósitos Material Limpeza	90	Separatas	1530
Seleção e Aquisição	1870	Diário Oficial	1530
Catálogo I e II	1280	Serviços Internos	1020
Intercâmbio 1º Pavimento	600	Escadas de Emergência por pavimento	120
Máquinas	260		

A fração radiante considerada foi de 0,60 e a atividade metabólica de 117W por pessoa. Na Tabela 4.9 são apresentadas as médias realizadas de acordo com as medições e a quantidade de pessoas adotadas como parâmetro por zona térmica no modelo. Não foram realizadas medições para o período da primavera, por causa da semelhança entre o uso da edificação em relação ao outono, que também coincide com o meio do semestre letivo, e por causa do prazo de término desta pesquisa.

Tabela 4.9: Médias de pessoas por época de medição e quantidade utilizada no modelo

Ambiente - Zona Térmica	Média pessoas p/época de medição			N° pessoas utilizada Modelo Edificação
	Verão	Outono	Inverno	
Restauro	1	1	1	1
Referência	11	64	54	64
Reserva	8	54	46	54
WC Reserva	1	1	1	1
Atendimento Reserva	2	2	2	2
Circulação Funcionários	1	1	1	1
Zeladoria	4	4	4	4
Circulação Interna Perto da Reserva	0	5	5	5
Portaria Lateral	3	3	3	3
Copa	1	1	1	1
Apoio Administrativo	1	1	1	1
Secretaria Direção	1	1	1	1
Comut	2	2	2	2
Sala estudos 2° Grau	6	41	41	41
Livraria e Lanchonete	10	10	10	10
Diretoria	2	2	2	2
Terminais de consulta	8	8	8	8
WC 1°/2°/3° pavimentos (uso público)	1	1	1	1
Seleção e Aquisição	3	3	3	3
Catálogoação I	4	4	4	4
Catálogoação II	2	2	2	2
Circulação 1° pavimento	7	7	7	7
Estudos Individuais Maiores	0	5	10	10
Estudos Individuais Menores	0	3	5	5
Estudos em Grupo	0	6	20	20
Corredores Laterais de Acesso	0	3	3	3
Máquinas de Fotocópias	5	20	20	20
Multimídia	4	4	4	4
Mapoteca	0	0	1	1
Laboratório Mapoteca	0	3	3	3
Acervo livros A - 2° pavimento	6	41	21	41
Acervo livros B - 2° pavimento	0	37	20	37
Acervo livros C - 2° pavimento	2	11	7	11
Acervo livros D - 2° pavimento	0	41	25	41
Acervo livros E - 2° pavimento	2	33	16	33
Hall de empréstimos de livros	4	7	4	7
Acervo periódicos C - 3° pavimento	0	1	0	1
Acervo periódicos E - 3° pav.	0	41	7	41
Hall de empréstimos de periódicos	0	1	1	1

4.3.1.5. Horários de funcionamento da edificação

Os horários de funcionamento da biblioteca variam de acordo com o setor: o administrativo, em turno de 6h por funcionário; o de uso público em dois horários de funcionamento, conforme Tabela 4.10. Os horários apresentados na tabela foram os utilizados para a configuração das *schedules* de uso dos equipamentos e ocupação no

modelo computacional, visto que, para a biblioteca, todos os equipamentos são ligados quando o edifício é aberto para o funcionamento e desligado somente no último turno.

Tabela 4.10: Horários de funcionamento da edificação por tipo de uso e ambiente

Uso	Ambientes	Horários de funcionamento		
		Segunda a sexta-feiras	Sábados	Domingos e Feriados
Público	Reserva	0h às 23h59	0h às 18h	
	Todos os outros ambientes públicos	6h às 24h	6h às 18h	
Serviço	Administrativo	6h às 12h e 14h às 18h		Não há funcionamento
	Turno - Restauração	6h às 12h		
	Turno - Comut	6h às 18h		
	Turno - Acervo	6h às 24h	6h às 18h	
	Turno - 24 horas	0h às 23h59	0h às 18h	

4.3.1.6. Temperaturas do solo

As temperaturas do solo foram inseridas no modelo pelo fato de o pavimento térreo estar construído diretamente no solo e com ausência de subsolo. As temperaturas utilizadas foram as mesmas que constam no arquivo climático para Viçosa-MG.

4.3.1.7. Distribuição solar

Quanto à distribuição solar a taxa de radiação solar incidente e o índice de reflexão das superfícies externas foram modelados com o parâmetro *SolarDistribution:FullExterior*. O parâmetro indica como são distribuídas a taxa de radiação solar e o índice de refletância na edificação simulada, que no caso foi somente exterior, pois, devido à complexidade do edifício, foi a única opção possível de utilizar.

4.3.1.8. Parâmetros utilizados para a ventilação natural

Para a configuração da ventilação natural do modelo computacional, consideraram-se os coeficientes indicados pelas bibliografias citadas na seção 3.2, adotando-se principalmente os coeficientes utilizados por Versage (2009), que analisou a influência dos valores indicados por vários autores para a ventilação natural e desempenho térmico.

O edifício é mantido durante todo o ano com as janelas abertas, inclusive quando a biblioteca não está funcionando. Nos ambientes destinados à administração interna da biblioteca, as portas internas são controladas pelos funcionários. Os que armazenam

acervos especiais ou são depósitos de livros e materiais pouco utilizados permanecem sempre fechados. Os de uso público variam de acordo com a dimensão do ambiente: as áreas destinadas a acervo e estudo em grupo permanecem abertas; as salas destinadas a estudos individuais, que são ambientes para no máximo 10 pessoas, têm as portas controladas pelos usuários. Normalmente fecham-se as portas quando as salas estão com a capacidade total de ocupantes.

O coeficiente utilizado para a rugosidade do entorno foi área urbana ou suburbana arborizada ou terreno com várias obstruções à distância de 2km ou dez vezes a altura do edifício, em que o *EnergyPlus* considera como o valor de 0,22. Os coeficientes de pressão foram definidos de acordo com o *Tokyo Database*, a partir de um modelo de referência com as características e dimensões aproximadas da biblioteca.

Para o coeficiente de descarga, utilizou-se para o modelo inicial de validação (A) o valor médio 0,60 indicado por Flourentzou *et al.* (1998). Para as versões de validação seguintes, adotou-se o valor inferior indicado por Flourentzou *et al.* (1998), de 0,50, por causa do tipo de abertura das janelas e o bloqueio de ventilação causado pelos *brises*. Para as divisões internas criadas para o átrio central e as caixas de escadas de emergência, adotou-se o valor 1,0, pois, por no edifício não haver essas divisões, foi adotado o maior número aceito pelo programa para permitir que o fluxo de ar calculado fosse próximo ao do existente. Esse mesmo coeficiente foi utilizado para as zonas do acervo do segundo e terceiro pavimentos, pois, devido à dimensão e orientação solar, foram divididos em várias zonas térmicas (cinco para o primeiro e quatro para o último) permitindo-se, assim, que fosse criado um nó interno para cada, por se ter verificado durante a fase de medições higrótérmicas que há temperaturas diferentes em cada zona.

Os expoentes e coeficientes de frestas adotados foram usados basicamente para as aberturas internas da edificação, já que as janelas permanecem abertas ao longo do ano. Além disso, Versage (2009) concluiu que esses “expoentes e coeficientes de fluxos de massa de ar apresentam influências menores que 5% nos ganhos térmicos de uma edificação” e que “como são valores que representam os ganhos térmicos por infiltração quando as janelas estão fechadas, sua influência será sempre menor para climas que proporcionam condições para as janelas que fiquem a maior parte do tempo abertas”. Para as portas de metal de duas folhas pivotantes de correr, o coeficiente de fluxo de ar foi calculado considerando uma porta com as mesmas características e com apenas uma folha. Para as venezianas situadas na cobertura do átrio central, considerou-se o valor

indicado por Liddament (*apud* VERSAGE, 2009), e calculou-se o fluxo de ar para a área de venezianas da biblioteca. Em seguida, esse coeficiente calculado foi dividido pela área de projeção da cobertura translúcida do local, pois houve necessidade de simplificação da modelagem, como descrito em 4.3.1.1, devido à sua complexidade. Os valores utilizados foram os medianos recomendados por Liddament (*apud* VERSAGE, 2009) e estão apresentados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Coeficientes e expoentes de fluxo de ar por frestas utilizados

Material	Tipo de abertura	Vedação	Local	Expoente de fluxo de ar (n)	Coeficiente de fluxo [em kg(s.m)]
Janela de metal	Pivotante - eixo horizontal superior	com vedação	Externa	0,6	0,00041
			Interna	0,59	0,00204
Porta de madeira	1 folha pivotante	sem vedação	Corta-fogo	0,58	0,00221
			Interna	0,66	0,00539
Porta de metal	2 folhas pivotantes	sem vedação	Externa	0,66	0,0001
	2 folhas de correr	vedação	Externa	0,66	0,00052
Venezianas Átrio		sem vedação	Externa	0,66	0,001

4.4. Validação do modelo experimental

Primeiramente, os dados das medições higrotérmicas realizadas externamente foram interpolados e substituídos no arquivo climático da cidade de Viçosa, originando um arquivo climático somente para a fase de validação. Em seguida, realizou-se uma simulação com a modelagem da biblioteca, sendo os resultados comparados com os dados monitorados durante a fase de realização das medições higrotérmicas por meio de gráfico e cálculo das amplitudes entre os dados. Durante esse período de validação, a simulação foi feita apenas para abranger a fase de monitoramento durante seis meses, de fevereiro a julho. Com esse primeiro resultado, organizou-se uma relação de prioridade de verificação dos dados contidos no modelo inicial, originando as versões das simulações, com base no método de incertezas proposto por Westphal (2007) e os utilizados por Pereira (2009), para que se alcançasse a validação de forma mais segura, sem comprometer a qualidade e confiabilidade dos resultados finais. Quando os dados alterados em uma versão se aproximavam das condições monitoradas, eram mantidos para as próximas simulações. Quando se verificou o contrário, a versão foi ignorada e retornou-se para a versão anterior.

4.4.1. Arquivo climático usado

Para todas as simulações dos testes, utilizou-se o arquivo climático da cidade de Viçosa-MG, desenvolvido por Guimarães (2011), na Zona Bioclimática 3 (ABNT, 2005).

4.4.2. Variáveis ambientais analisadas

Para a validação do modelo experimental, consideraram-se a temperatura média do ar interna (°C), a temperatura média radiante (°C) e a umidade relativa (%) para cada zona térmica monitorada. Não foi considerado o consumo energético da biblioteca, pois os edifícios da UFV ainda não contam com medidores individuais.

4.4.3. Parâmetros ajustados no modelo

Quantidade de pessoas por zona térmica: para esta simulação, a quantidade de pessoas configuradas foi alterada para três zonas térmicas do pavimento térreo: Restauração, Referência e Reserva. Trocou-se o valor mediano obtido com a realização de média aritmética por época de medição pelo valor máximo encontrado com a mesma média, ou seja, o número máximo de pessoas foi adotado com base somente em uma época de medição, que no caso foi o outono, conforme Tabela 4.12.

Tabela 4.12: Quantidade de pessoas por zona térmica

Ambiente - Zona Térmica	N° de pessoas Modelo inicial (Simulação A)	N° de pessoas Simulação B
Restauração	1	2
Referência	64	70
Reserva	54	60

Ganhos internos de calor por lâmpadas: o valor inicialmente utilizado no parâmetro *Lights* foi de 0,48, valor *default* do *EnergyPlus*. Nessa simulação, foi alterado para 0,60, que é um valor indicado para o tipo de lâmpadas fluorescentes utilizado na edificação.

Padrão de uso devido à ocupação: as *schedules* utilizadas como parâmetro inicial para o modelo consistiam basicamente em dividir o ano em três épocas diferenciadas de densidade de ocupação, como descrito na modelagem do edifício. O parâmetro alterado consistiu em dividir o ano em quatro tipos de épocas de densidades

diferentes. O parâmetro foi mantido igual ao anterior para o período de recesso do mês de julho e de dezembro a fevereiro, e a modificação ocorreu na configuração na divisão do período letivo em duas partes: a mais densa durante os três primeiros meses do período letivo e a menos densa durante o último mês do mesmo período.

Propriedades térmicas dos materiais utilizados: para a modificação dessas propriedades, foram considerados valores indicados na Tabela B.3 da NBR 15.220 (ABNT, 2005). A condutividade térmica do tijolo cerâmico foi alterado de 0,90W/(m.K) para 1,0W/(m.K), a densidade da argamassa de 2000kg/m³ para 1800kg/m³, e a densidade do bloco de concreto celular de 500kg/m³ para 400kg/m³.

Parâmetros da ventilação natural: esses parâmetros foram trocados nas zonas térmicas das salas destinadas aos estudos individuais: de ventilação, considerando-se as janelas abertas, para infiltração por frestas; ou seja, as janelas para esta simulação foram consideradas fechadas, sendo as primeiras definidas no parâmetro *AirflowNetwork:Multizone:Component:DetailedOpening*, e a taxa de infiltração no parâmetro *AirflowNetwork:Multizone:Surface:Crack*, com os coeficientes descritos na modelagem da edificação, subseção 4.3.1.7.

4.4.4. Critérios para a validação do modelo

Para a validação do modelo de referência, determinou-se que seria feita uma simulação com cada parâmetro definido para alteração, de forma a permitir uma análise mais precisa da interferência desses no desempenho térmico da edificação. Assim, a primeira versão de validação foi comparada com a primeira simulação realizada. A análise consistiu em avaliar somente os ambientes que foram monitorados com a época do ano em que o monitoramento ocorreu, isto é, nos meses de fevereiro (verão), abril e maio (outono), junho e julho (inverno), embora a simulação tenha ocorrido para seis meses consecutivos. Na Tabela 4.13 são apresentadas as versões das simulações, juntamente com o parâmetro alterado.

Tabela 4.13: Simulações realizadas para a validação do modelo

Versão Simulação	Descrição do Parâmetro Alterado
A	Modelo inicial
B	Modelo inicial + Quantidade de pessoas por zona térmica
C	Simulação B + Ganhos internos de calor por lâmpadas
D	Simulação C + Padrão de uso devido à ocupação
E	Simulação D + Propriedades térmicas dos materiais
F	Simulação E + Parâmetros de ventilação natural

4.5. Tratamento dos dados finais para a análise de conforto higrotérmico

Para as análises de conforto higrotérmico, primeiramente foram requeridas da simulação no *EnergyPlus*, após sua validação, as variáveis ambientais externas (temperatura de bulbo seco, °C; umidade relativa do ar, %) e as variáveis internas da edificação, por zona térmica (temperatura operativa, °C; temperatura média do ar, °C; temperatura média radiante, °C; umidade relativa do ar, %; PMV; PPD).

4.5.1. Parâmetros de condições higrotérmicas necessárias para as análises

As análises finais consistiram em dois tipos: uma considerando o padrão de conforto humano, para fins de comparação das normas apresentadas na subseção 3.1.1; a outra considerando o nível necessário para a adequação ambiental para o material bibliotecário, que é permanente para o edifício, verificando se na edificação em estudo essas condições são mantidas, de acordo com a subseção 3.1.2. Os resultados foram gerados por meio de planilha eletrônica dos dados de saída fornecida pelo *EnergyPlus*. Esses dados foram somados hora a hora, de acordo com os intervalos dos parâmetros para conforto higrotérmico de cada norma analisada, obtendo-se, ao final, o total de horas por ano de conforto. Abaixo estão apresentados os parâmetros considerados para esses dois tipos de análise: conforto humano e adequação ambiental para o acervo.

4.5.1.1. Parâmetro utilizado para conforto higrotérmico humano

A ASHRAE *Standard 55* define que para um PMV entre -0,5 e +0,5, e consequentemente PPD de 10%, as temperaturas operativas devem variar de 20°C a 25°C para o aquecimento e de 24°C a 27°C para o resfriamento, considerando sempre uma taxa de umidade relativa do ar de 50%.

Para a EN 15.251:2007, o intervalo de temperatura operativa considerado foi para a classe II: nível normal de expectativa que deve ser usado para novas construções e reformas, sendo 20°C a 24°C para aquecimento e 23°C a 26°C para resfriamento.

4.5.1.2. Parâmetro utilizado para verificação da adequação ambiental do material bibliotecário

Conforme os intervalos de temperaturas mencionados por Ogden (2001) e Trinkley (2001) para ambientes em que se armazenam acervo e em que permanecem

usuários, a temperatura deve ser igual ou inferior a 21°C e a umidade relativa deve estar entre 30% e 50%. De acordo com Trinkley (2001), para serem adotados como estratégias para projetos de bibliotecas públicas os intervalos devem ficar entre 18°C e 24°C e umidade relativa entre 45% e 55% durante todo o ano.

Dessa forma, para a análise de conforto desse tipo de material, adotou-se como intervalo de conforto temperaturas entre 18°C e 21°C e umidade relativa do ar de 50%.

4.5.2. Níveis de conforto higrotérmico adotados

Adotou-se a escala com os níveis de conforto higrotérmico definida pelo RTQ-C, que determina os níveis em função do percentual de horas ocupadas. Essa escala está dividida nos seguintes cinco níveis (v. capítulo 3): ‘A’ para acima de 80% das horas ocupadas em conforto; ‘B’ de 70% a 80% das horas ocupadas em conforto; ‘C’ de 60% a 70%; ‘D’ de 50% a 60%; e ‘E’ para menos de 50% das horas ocupadas em conforto. A partir disso, foram feitos dois tipos de análises: uma considerando a edificação ocupada 24 horas/dia, e outra durante no período de 6h às 24h, também, todos os dias.

Em outras palavras, considerando-se a ocupação de 24 horas/dia (8760 horas/ano) tem-se os seguintes intervalos por nível: ‘A’ acima de 7.008 horas; ‘B’ acima de 6.132 horas até 7.008 horas; ‘C’ acima de 5.256 horas até 6.132 horas; ‘D’ acima de 4.380 horas até 5.256 horas; e ‘E’ abaixo de 4.380 horas anuais de conforto.

Para o horário de ocupação de 6h às 24h (6570 horas/ano), tem-se os seguintes intervalos por nível: ‘A’ acima de 5.256 horas; ‘B’ acima de 4.599 horas até 5.256 horas; ‘C’ acima de 3.942 horas até 4.599 horas; ‘D’ acima de 3.285 horas até 3.942 horas; e ‘E’ abaixo de 3.285 horas anuais de conforto.

Para o horário de ocupação de 8h às 12h e 14h às 18h (2920 horas/ano), tem-se os seguintes intervalos por nível: ‘A’ acima de 2.348 horas; ‘B’ acima de 2.055 horas até 2.348 horas; ‘C’ acima de 1.761 horas até 2.055 horas; ‘D’ acima de 1.468 horas até 1.761 horas; e ‘E’ abaixo de 1.468 horas anuais de conforto (v. Figura 4.27).

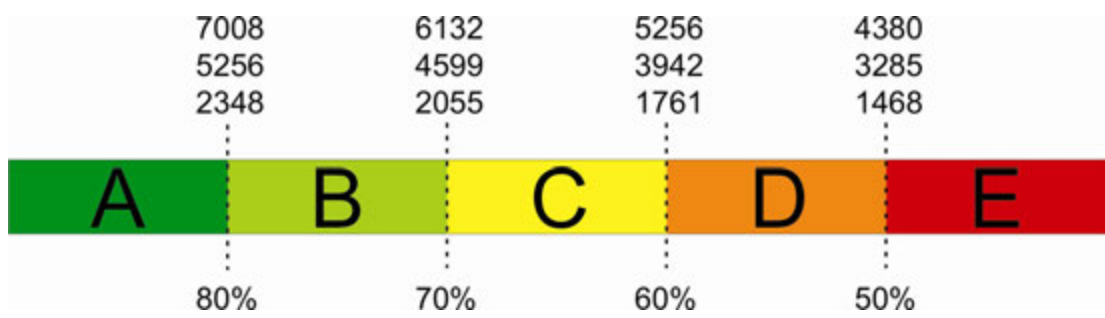


Figura 4.27: Escala com os níveis de conforto higrotérmico adotada. Na parte superior estão os limites em horas totais anuais; logo abaixo, os limites em horas ocupadas, para o horário de 6h às 24h e, para o horário de 8h às 12h e 14h às 18h. Na parte inferior, a porcentagem das horas em conforto.

5. RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos e as análises realizadas com a calibração dos termômetros de globo, com os testes de pré-modelagem, a validação do modelo computacional da edificação, os níveis de conforto higrotérmico humano segundo as normas *ASHRAE Standard 55:2004* e *EN 15251:2007* e os níveis para a adequação ambiental para os materiais bibliotecários.

5.1. Calibração dos termômetros de globo negro

De acordo com os dados obtidos com a análise de regressão, utilizando-se o programa *Minitab 14*, como detalhado no capítulo 4, verificou-se na comparação dos termômetros digital e de plástico com o de referência, em cobre, que ambos apresentaram correlações altas, 98,9% o primeiro e 99,3% o segundo, o que indica que todos dois podem ser utilizados para as medições ambientais (Figuras 5.1 e 5.2). As equações para correção da temperatura média radiante são:

Equação de correção do termômetro de globo negro digital ITWTG 2000:

$$t_C = -1,563 + 1,036 \times t_D \quad \text{Eq. (5.1)}$$

em que: t_C - temperatura do termômetro de globo negro de cobre de 15cm de diâmetro;

t_D - temperatura do termômetro de globo negro de cobre digital.

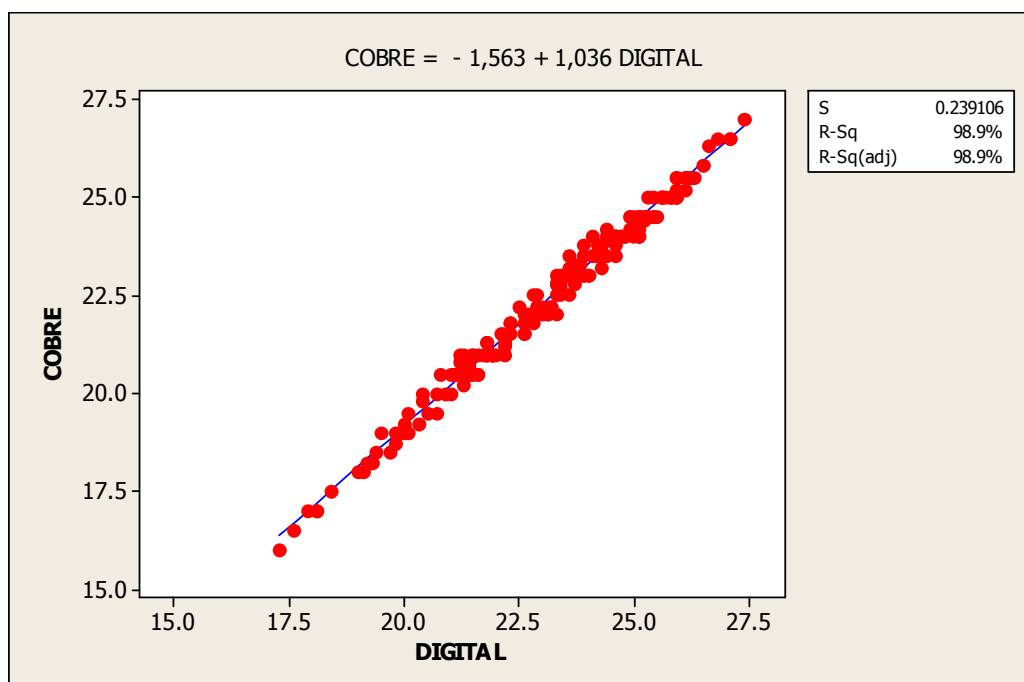


Figura 5.1: Relação entre termômetro de cobre original e digital.

Equação do termômetro de globo negro de plástico:

$$t_C = -0,7943 + 0,9744 \times t_P \quad \text{Eq. (5.2)}$$

em que: t_C - temperatura do termômetro de cobre de 15cm de diâmetro;

t_P - temperatura do termômetro de globo de plástico.

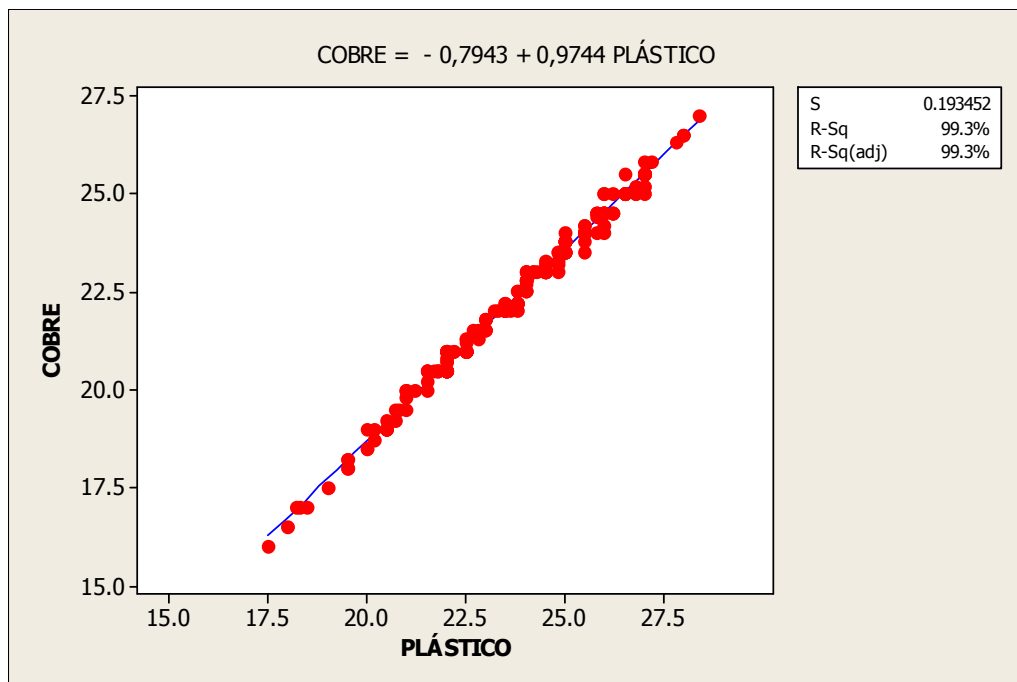


Figura 5.2: Relação entre termômetro de cobre original e de plástico.

Pelos resultados obtidos com a calibração dos termômetros de globo negro, concluiu-se que os três podem ser utilizados para monitoramento das temperaturas médias radiantes. As equações 5.1 e 5.2, definidas pela análise de regressão para ajustar as temperaturas aferidas pelos dois termômetros utilizados, digital e de plástico, foram válidas somente para o intervalo de temperatura interna entre 17,3°C e 27,4°C e 17,5°C e 28,4°C, respectivamente. Para temperaturas que não estão entre esses intervalos, o ideal é a realização de novas medições e, conseqüentemente, novos testes estatísticos para ajuste.

5.2. Testes de pré-modelagem

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados dos tratamentos estatísticos aplicados em cada tipologia de teste realizado.

5.2.1. Casos com diferentes alturas de pé-direito (1.a)

5.2.1.1. Ventilação natural

Os resultados dos testes estatísticos, para os casos modelados com ventilação natural, indicaram diferenças entre as duas hipóteses testadas, quando em comparação com o protótipo de referência. Esquadrinhando-se o p -valor auferido da análise de regressão, tem-se que o p -valor foi igual a 0,002 para a conferência da referência com o protótipo 2, e de 0,001 para a comparação com o modelo 3.

Outra forma de verificar a diferença entre os casos é por meio da checagem do intervalo de confiança obtido pela ANOVA. Nessa situação, os intervalos não compreendiam o valor zero, pois a variação na comparação do protótipo de referência com o modelo 2 ficou entre 3,250 e 7,027, e a variação relativa ao protótipo 3 ficou entre 2,557 e 6,335. Além disso, as correlações obtidas com a ANOVA e o teste de Dunnet tiveram valores baixos, $R^2 = 62,4\%$ para a comparação entre os protótipos 1 e 2, e $R^2 = 70,1\%$ para a comparação entre os protótipos 1 e 3 (Tabelas 5.1 a 5.3).

Tabela 5.1: Resultado do teste de Dunnet da ANOVA

TESTE DE DUNNET						
Referência: Protótipo 1					Intervalo de confiança	
Prot.	Diferenças Médias	Diferença Erro ²	T-valor	p -valor ajustado	Menor	Maior
2	5,138	0,7994	6,428	0,00	3,25	7,027
3	4,446	0,7994	5,562	0,00	2,557	6,335

Tabela 5.2: Resultado da análise de variância da regressão dos protótipos 1 e 2

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO					
Protótipo 1 com Protótipo 2					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	56,0607	56,0607	16,61	0,002
Erro	10	33,7551	3,3755		
Total	11	89,8158			

S= 1,83726 $R^2= 62,4\%$ R^2 Ajustado= 58,7%

Tabela 5.3: Resultado da análise de variância da regressão dos protótipos 1 e 3

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO					
Protótipo 1 com Protótipo 3					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	62,9604	62,9604	23,44	0,001
Erro	10	26,8554	2,6855		
Total	11	89,8158			

S= 1,63876 $R^2= 70,1\%$ R^2 Ajustado= 67,1%

De acordo com as Figuras 5.3 a 5.5, dos três protótipos, pode-se verificar que os maiores ganhos e perdas térmicas em W/m^2 estão nas fachadas sul e oeste (paredes e janelas), embora em quantidades diferentes devido à orientação solar. Esses ganhos térmicos variam de -10 a $5W/m^2$, com picos de $25W/m^2$ na fachada oeste no protótipo 1 e $15W/m^2$ nos protótipos 1 e 2, o que demonstra uma diferença entre eles, já que os picos são diferentes. Nas outras paredes, os ganhos e as perdas térmicas são mais estáveis, entre -5 e $5W/m^2$, variando pouco de um protótipo para o outro, principalmente por serem as paredes internas do modelo criado.

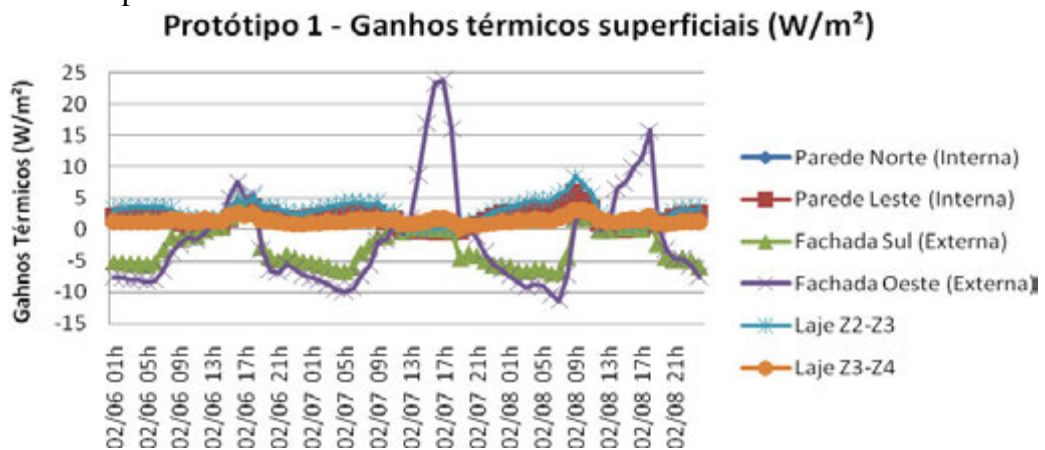


Figura 5.3: Ganhos térmicos do protótipo 1 em W/m^2 .

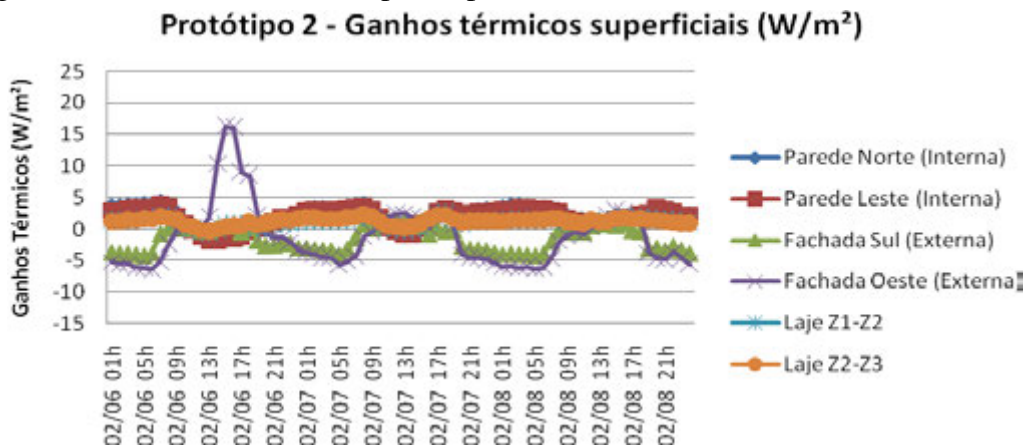


Figura 5.4: Ganhos térmicos do protótipo 2 em W/m^2 .

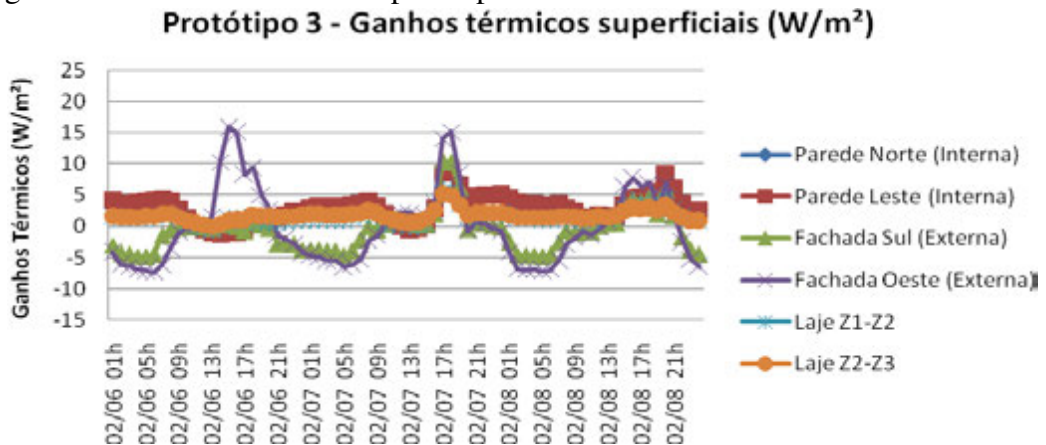


Figura 5.5: Ganhos térmicos do protótipo 3 em W/m^2 .

Na Tabela 5.4 apresenta-se o somatório dos ganhos térmicos por mês e por caso, em kW/m². A Figura 5.6 reproduz os ganhos térmicos para cada protótipo por mês, e comprova-se a diferença entre eles, pois os protótipos 2 e 3 não possuem o mesmo comportamento do 1, que é o parâmetro de comparação. Além disso, as linhas dos dois primeiros se cruzam, o que também comprova essa diferença. A Figura 5.7 exemplifica a correlação fraca entre os protótipos 1 e 2, em que o mesmo também ocorre para os protótipos 1 e 3.

Tabela 5.4: Ganhos térmicos dos protótipos com diferentes alturas de pé-direito

Mês	Ganhos Térmicos por Protótipo (kW/m ²)											
	Protótipo 1				Protótipo 2				Protótipo 3			
	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL
Jan	-0,48	-2,59	-5,97	-9,04	-0,85	-1,57	2,09	-0,33	-0,85	0,20	2,30	1,65
Fev	-1,18	-2,81	-5,35	-9,34	-0,63	-1,40	1,40	-0,63	-0,87	-0,40	1,30	0,03
Mar	-2,24	-3,52	-5,01	-10,77	-1,71	-2,38	-0,60	-4,68	-1,88	-1,87	-0,80	-4,55
Abr	-3,48	-4,78	-5,58	-13,83	-1,14	-3,04	-1,52	-5,70	-1,90	-3,06	-2,10	-7,06
Mai	-5,27	-5,79	-5,44	-16,50	-2,82	-4,19	-3,50	-10,51	-3,95	-5,06	-4,38	-13,40
Jun	-5,68	-5,62	-4,81	-16,11	-3,44	-4,55	-3,96	-11,95	-4,78	-5,44	-4,68	-14,90
Jul	-4,73	-4,85	-4,52	-14,10	-3,67	-4,24	-3,91	-11,82	-4,36	-4,87	-4,51	-13,74
Ago	-4,09	-4,47	-4,67	-13,24	-3,48	-3,81	-3,48	-10,77	-4,02	-4,42	-4,18	-12,61
Set	-2,72	-3,28	-4,36	-10,36	-3,31	-2,92	-2,59	-8,82	-3,23	-3,11	-3,22	-9,56
Out	-2,37	-3,03	-4,51	-9,91	-2,91	-2,70	-2,21	-7,82	-2,89	-2,88	-2,69	-8,46
Nov	-1,32	-2,54	-4,63	-8,48	-1,81	-1,87	-0,16	-3,83	-1,75	-1,34	-0,40	-3,49
Dez	-1,15	-2,76	-5,38	-9,29	-1,20	-1,69	0,44	-2,45	-1,19	-0,75	0,41	-1,53

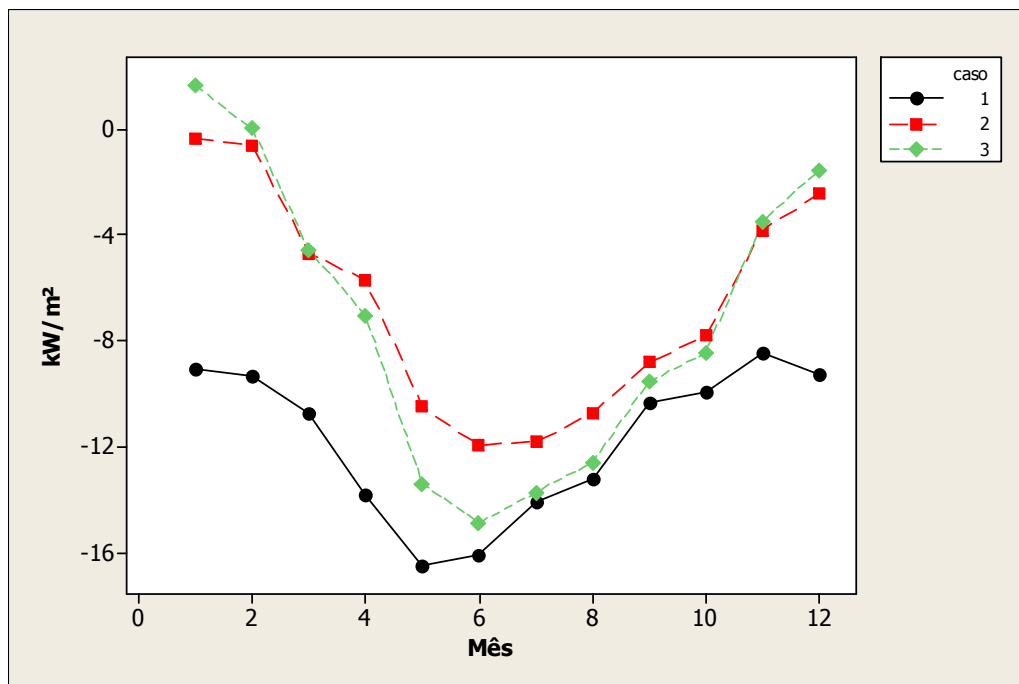


Figura 5.6: Gráfico de linhas de cada protótipo em função da carga térmica em kW/m² por mês.

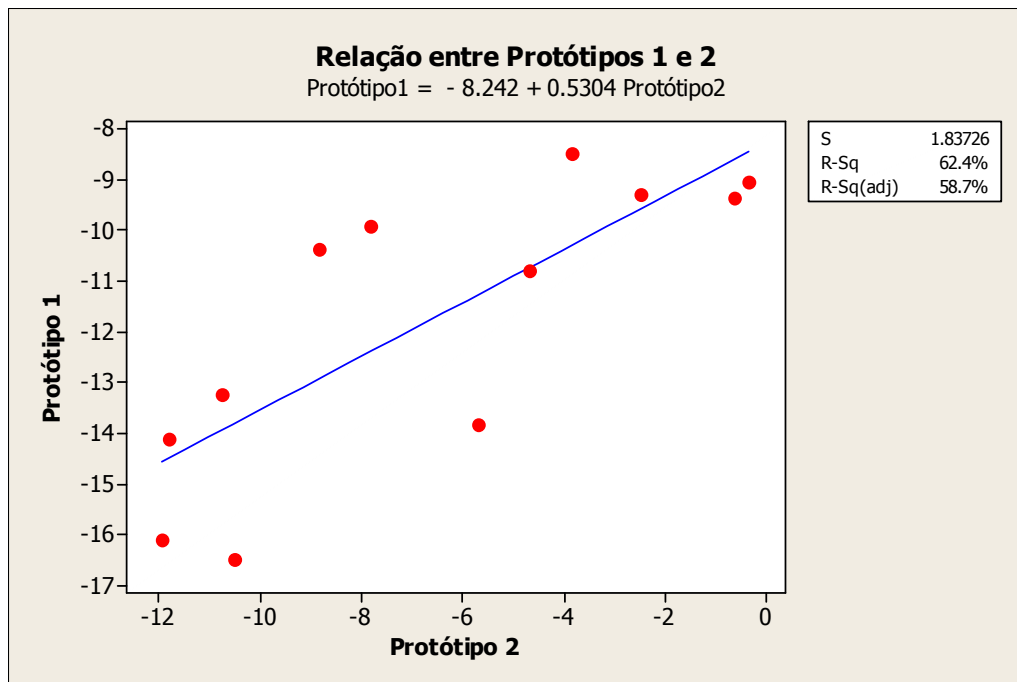


Figura 5.7: Relação entre os protótipos 1 e 2.

5.2.1.2. Condicionamento artificial

Os resultados dos testes para os casos condicionados artificialmente indicam uma discrepância entre o protótipo de referência e os modelos 2 e 3. Isso decorre do fato de, nas comparações, o *p*-valor ter sido menor que α (0,05), o que significa a impossibilidade de simplificação da modelagem dos casos 2 e 3 pelo protótipo 1. Dessa forma, embora as correlações tenham gerado valores altos ($R^2 = 99,4\%$ para a comparação entre os protótipos 1 e 3 e $R^2 = 98,9\%$ para a comparação entre os protótipos 1 e 2), próximos de 100%, e pudessem, num primeiro momento, ser considerados iguais estatisticamente, eles diferem, pois o *p*-valor da ANOVA da análise de regressão foram menores que 0,05, valor adotado para α (Tabelas 5.5 a 5.7), o que justifica a afirmação acima referente à impossibilidade de simplificação.

Tabela 5.5: Resultado do teste de Dunnet da ANOVA

TESTE DE DUNNET						
Referência: Protótipo 1					Intervalo de confiança	
Prot.	Diferenças Médias	Diferença Erro ²	T-valor	<i>p</i> -valor ajustado	Menor	Maior
2	195,61	36,74	5,323	0,0001	108,79	282,4
3	45,54	36,74	1,239	0,3726	-41,28	132,4

Tabela 5.6: Resultado da análise de variância da regressão dos protótipos 1 e 2

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO					
Protótipo 1 com Protótipo 2					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	7582887	7582887	1606,2	0,000
Erro	10	47212	4721		
Total	11	7630098			

S= 68,7107 R²= 99,4% R² Ajustado= 99,3%

Tabela 5.7: Resultado da análise de variância da regressão dos protótipos 1 e 3

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO					
Protótipo 1 com Protótipo 3					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	7544360	7544360	879,93	0,000
Erro	10	85738	8574		
Total	11	7630098			

S= 92,5950 R²= 98,9% R² Ajustado= 98,8%

De acordo com as Figuras 5.8 a 5.10, verifica-se que os consumos energéticos dos casos 1, 2 e 3 se assemelham, quando comparados por zona, com variação de 0 a aproximadamente 4kWh. Em contrapartida, há diferenças em relação ao consumo energético total de cada caso, alcançando o protótipo de referência picos de 6 e 8kWh e os protótipos 2 e 3 picos de 7 a 9kWh, o que, também, denota uma diferença entre os casos.

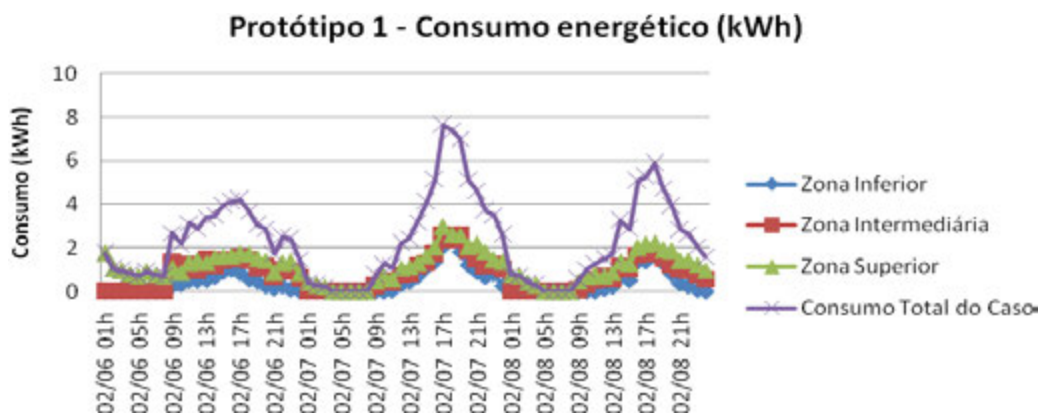


Figura 5.8: Consumo energético do protótipo 1 em kWh.

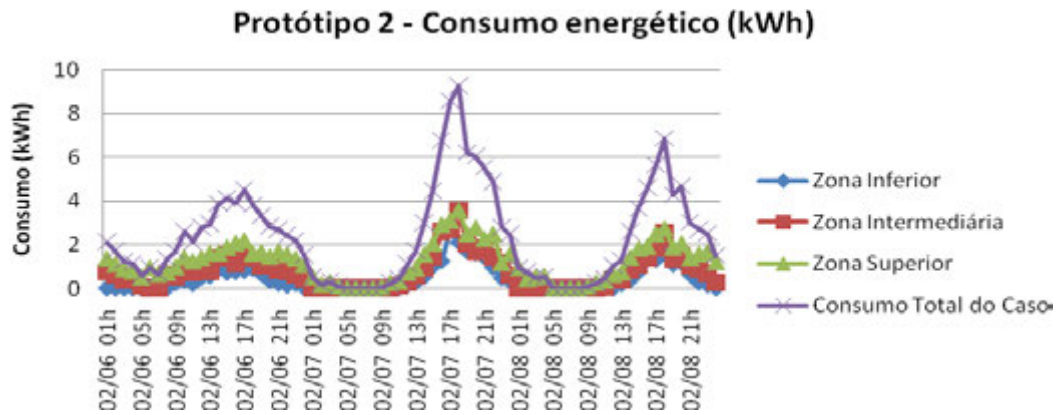


Figura 5.9: Consumo energético do protótipo 2 em kWh.

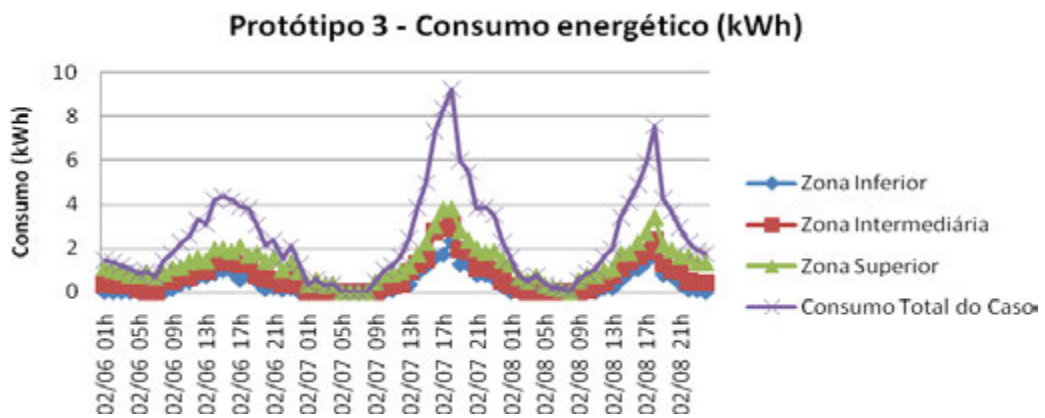


Figura 5.10: Consumo energético do protótipo 3 em kWh.

O somatório do consumo energético por protótipo mensal e anual, em kWh, encontra-se na Tabela 5.8, onde pode ser constatada a diferença de consumo entre os casos. Em seguida, são apresentadas as Figuras 5.11 e 5.12. A primeira evidencia a diferença do protótipo 2 em relação ao protótipo 1, visto que o consumo dos meses de janeiro, fevereiro e março e, junho, julho e agosto foram maiores que no caso de referência, que são os meses mais quentes e os mais frios, respectivamente; isto não acontece com o protótipo 3, que possui comportamento da linha muito próximo ao protótipo 1. A Figura 5.12 exemplifica a boa correlação, de 98,8% da comparação entre os protótipos 1 e 3 por meio do gráfico de dispersão da análise de regressão linear realizada, em que, para a comparação entre os protótipos 1 e 2, o gráfico seria muito semelhante.

Tabela 5.8: Consumo energético dos protótipos com diferentes alturas de pé-direito (kWh)

Consumo Energético por Protótipo (kWh)												
Mês	Protótipo 1				Protótipo 2				Protótipo 3			
	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL
Jan	397,6	880,0	1200,3	2477,89	497,5	956,2	1373,9	2827,60	360,8	823,2	1299,8	2483,88
Fev	420,3	662,2	927,3	2009,75	488,4	719,5	1090,6	2298,56	393,4	638,7	1042,5	2074,59
Mar	447,6	602,9	797,8	1848,36	518,2	682,8	910,0	2110,98	415,4	581,6	831,3	1828,34
Abr	119,7	113,4	148,8	381,86	113,2	136,6	211,1	460,84	124,8	177,8	269,9	572,43
Mai	2,4	8,9	18,0	29,25	2,1	36,1	42,2	80,37	2,5	16,6	23,8	42,90
Jun	68,7	172,1	273,5	514,26	117,4	321,7	362,0	801,11	52,4	174,6	224,3	451,30
Jul	131,2	132,5	211,0	474,64	195,3	268,5	301,0	764,77	112,2	149,8	186,4	448,36
Ago	227,9	135,0	211,0	573,91	286,2	273,9	280,8	840,87	198,4	154,9	166,1	519,42
Set	49,6	13,5	20,6	83,58	63,6	44,6	47,5	155,62	44,2	26,8	37,9	108,85
Out	45,7	30,1	57,5	133,27	59,2	77,3	114,0	250,46	38,7	57,2	114,2	210,03
Nov	5,4	99,5	174,9	279,72	7,9	121,3	255,7	384,79	4,6	135,4	304,4	444,39
Dez	70,6	351,2	511,8	933,64	86,7	376,5	648,3	1111,46	62,1	363,7	676,3	1102,15

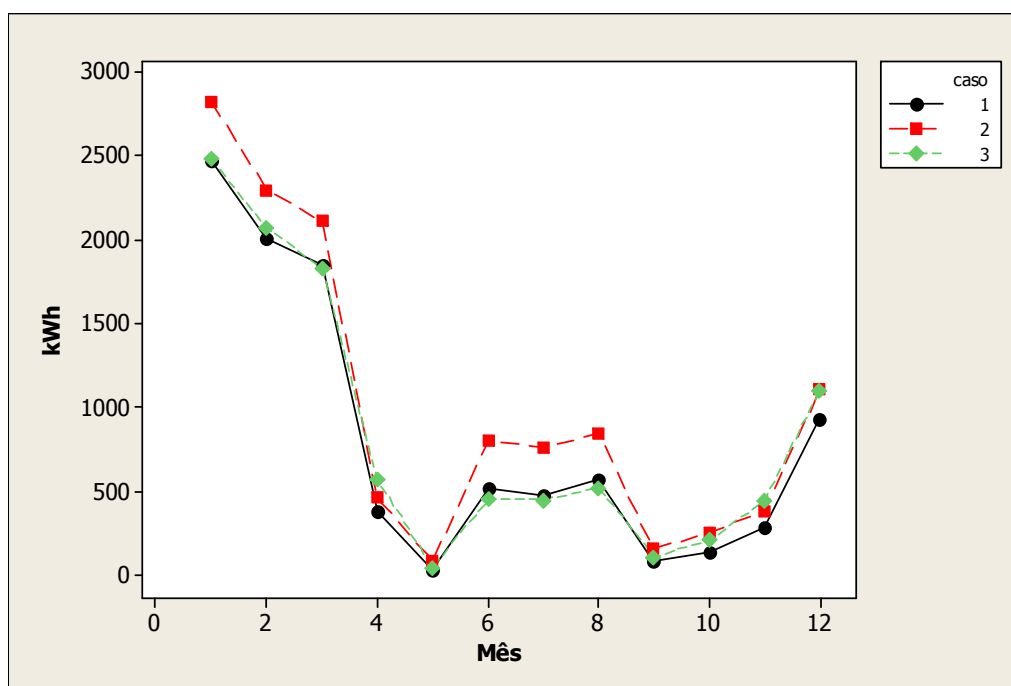


Figura 5.11: Gráfico de linhas de cada protótipo em função do consumo energético em kWh por mês.

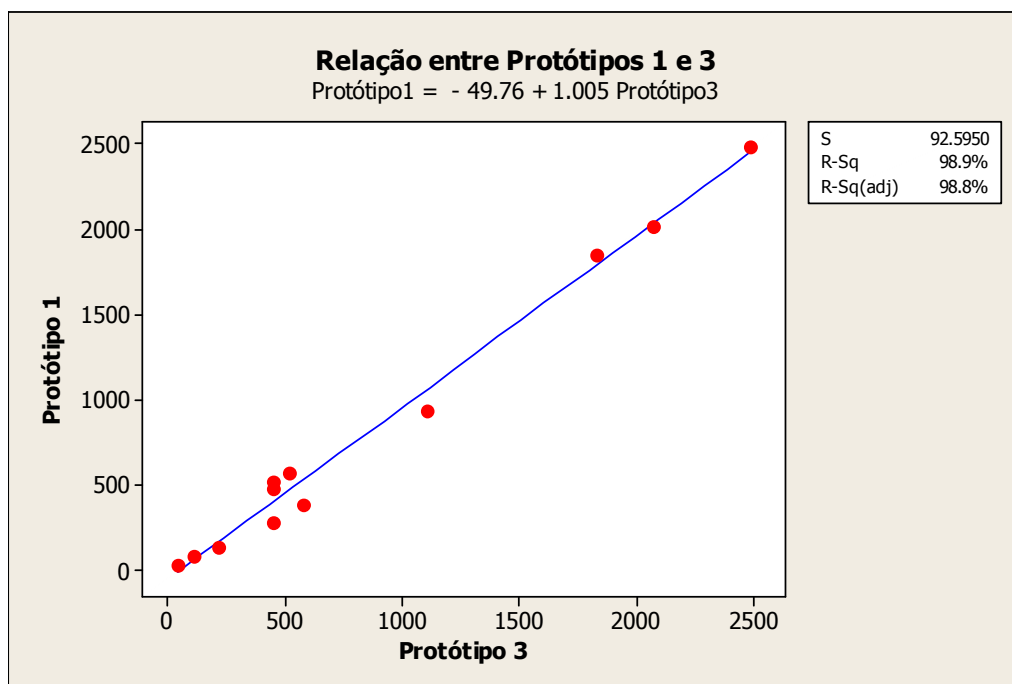


Figura 5.12: Relação entre os protótipos 1 e 3.

5.2.2. Casos com aumento na altura do pé-direito total (1.b)

5.2.2.1. Ventilação natural

Nos protótipos modelados com aumento na altura do pé-direito total, de 5m para 6,5m, verifica-se que os dois casos testados são diferentes do protótipo de referência, ou seja, p -valor foi igual a zero. Em contrapartida, as correlações obtidas com a comparação do protótipo 1 com o 2 e o protótipo 1 com o 3 tiveram valores de 99,0% e 99,1%, respectivamente, o que até poderia indicar uma semelhança entre os casos, o que não se confirma por causa da análise do p -valor (Tabelas 5.9 e 5.10).

A outra confirmação da diferença entre os casos testados com o protótipo de referência foi por meio do intervalo de confiança, que não abrangeu o valor zero, estando no intervalo 3,595 a 5,010 o protótipo de referência e o 2 e entre o intervalo de 4,036 a 5,452 a mesma referência com o 3.

Além disso, constata-se, para as três hipóteses, que os maiores ganhos e perdas térmicos, em W/m^2 , ocorrem pelas fachadas sul e oeste, em quantidades aproximadas, de -5 a $15W/m^2$. As maiores diferenças entre os casos estão nas variações de pico de perdas e ganhos térmicos, em que no protótipo de referência variou de -8 a $17W/m^2$, e nos outros casos variou de -6 a $17W/m^2$ para o protótipo 2 e de -6 a $19W/m^2$ para o

protótipo 3. Para as outras superfícies, verifica-se que os ganhos e perdas térmicos são mais estáveis, pois são paredes e lajes internas aos modelos (Figuras 5.13 a 5.15).

Tabela 5.9: Resultado do teste de Dunnet da ANOVA

TESTE DE DUNNET						
Referência: Protótipo 1					Intervalo de confiança	
Prot.	Diferenças Médias	Diferença Erro ²	T-valor	p-valor ajustado	Menor	Maior
2	4,302	0,2995	14,36	0,00	3,595	5,010
3	4,744	0,2995	15,84	0,00	4,036	5,452

Tabela 5.10: Resultado da análise de variância da regressão dos protótipos 1 com 2

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO					
Protótipo 1 com Protótipo 2					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	326,768	326,768	997,17	0,000
Erro	10	3,277	0,328		
Total	11	330,044			

S= 0,572448 R²= 99,0% R² Ajustado= 98,9%

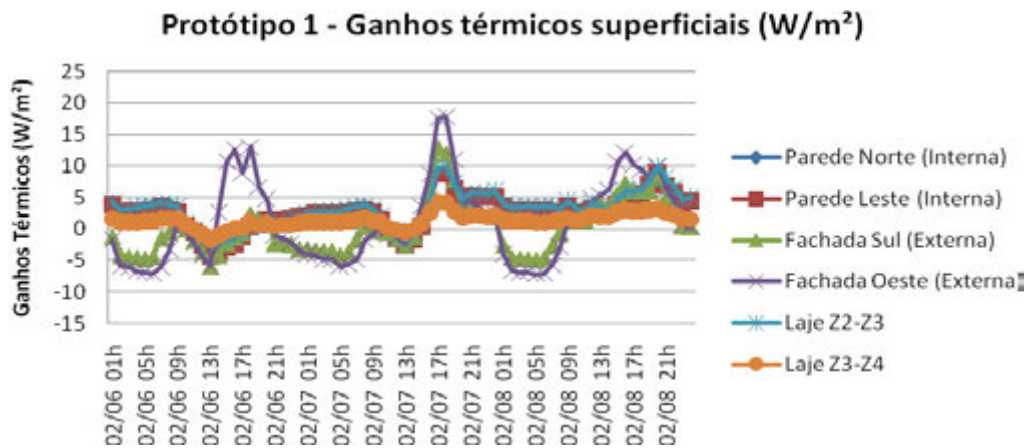


Figura 5.13: Ganhos térmicos do protótipo 1 em W/m².

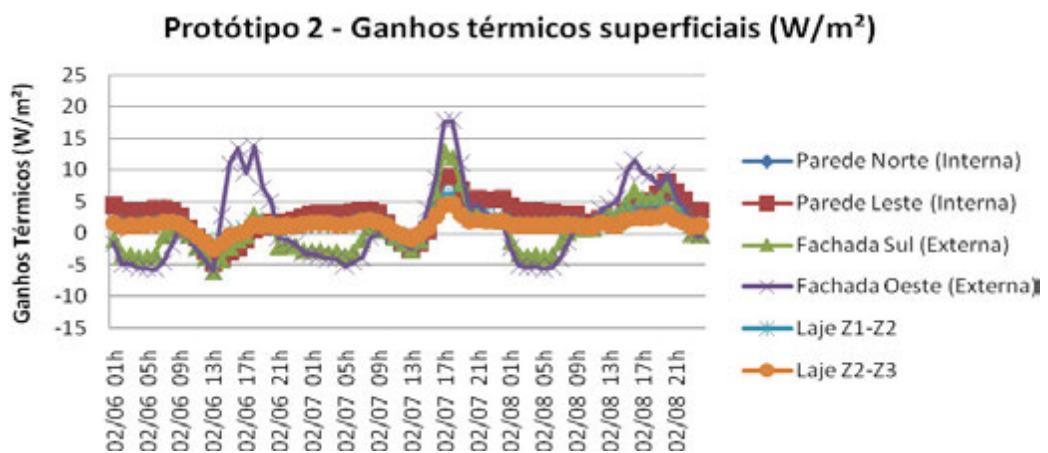


Figura 5.14: Ganhos térmicos do protótipo 2 em W/m².

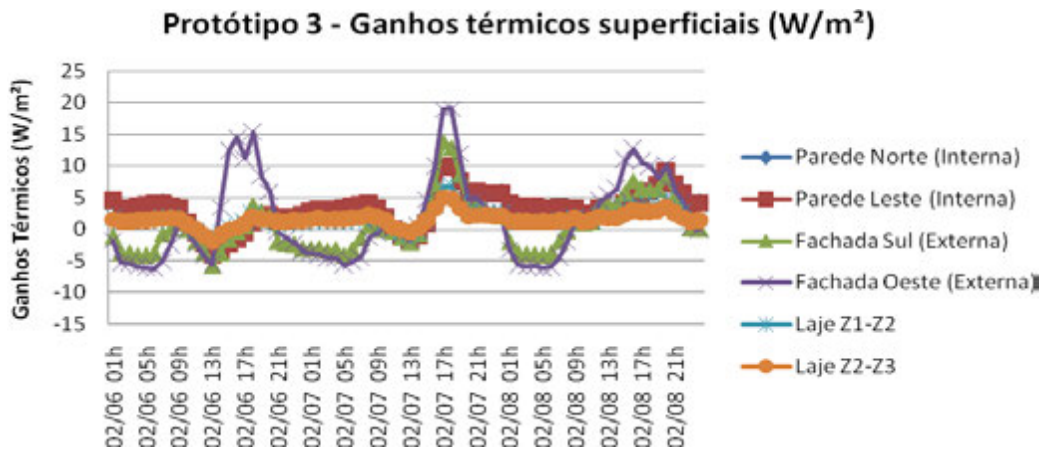


Figura 5.15: Ganhos térmicos do protótipo 3 em W/m².

Na Tabela 5.11, são apresentados os ganhos térmicos por mês e por protótipo, em kW/m², e verifica-se, pelo somatório anual, que o protótipo 1 tem menores ganhos e perdas térmicas que os outros dois casos, o que, também, pode ser comprovado pela Figura 5.16, que demonstra o mesmo resultado da tabela citada, confirmando, portanto, a diferença entre os protótipos.

Tabela 5.11: Ganhos térmicos dos protótipos com aumento do pé-direito total em kW/m²

Mês	Ganhos Térmicos por Protótipo (kW/m ²)											
	Protótipo 1				Protótipo 2				Protótipo 3			
	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL
Jan	-1,61	0,49	-1,02	-2,14	-1,55	1,48	4,08	4,01	-1,73	1,94	4,91	5,12
Fev	-0,23	0,32	-0,93	-0,85	-0,06	1,24	3,72	4,90	-0,12	1,59	4,27	5,74
Mar	-2,05	-1,31	-1,90	-5,25	-1,75	-0,44	1,32	-0,87	-1,83	-0,12	1,79	-0,17
Abr	-1,54	-3,46	-4,08	-9,08	-0,70	-2,32	-0,94	-3,96	-0,88	-2,17	-0,74	-3,79
Mai	-2,50	-5,40	-5,74	-13,65	-1,33	-4,29	-3,58	-9,19	-1,53	-4,20	-3,40	-9,13
Jun	-3,01	-6,12	-6,16	-15,29	-1,75	-5,12	-4,76	-11,64	-1,96	-5,07	-4,66	-11,68
Jul	-4,96	-6,28	-6,36	-17,60	-4,09	-5,26	-5,05	-14,40	-4,25	-5,14	-4,97	-14,37
Ago	-4,44	-4,67	-4,73	-13,83	-3,79	-3,73	-3,04	-10,55	-3,92	-3,60	-2,90	-10,42
Set	-5,44	-3,33	-3,54	-12,32	-5,18	-2,56	-1,67	-9,41	-5,36	-2,41	-1,46	-9,24
Out	-4,34	-2,34	-2,75	-9,43	-4,18	-1,63	-0,38	-6,19	-4,33	-1,40	-0,04	-5,77
Nov	-3,19	-0,94	-1,73	-5,86	-3,11	-0,05	1,96	-1,20	-3,28	0,27	2,40	-0,61
Dez	-2,19	-0,31	-1,69	-4,19	-2,18	0,50	2,31	0,64	-2,34	0,96	3,14	1,76

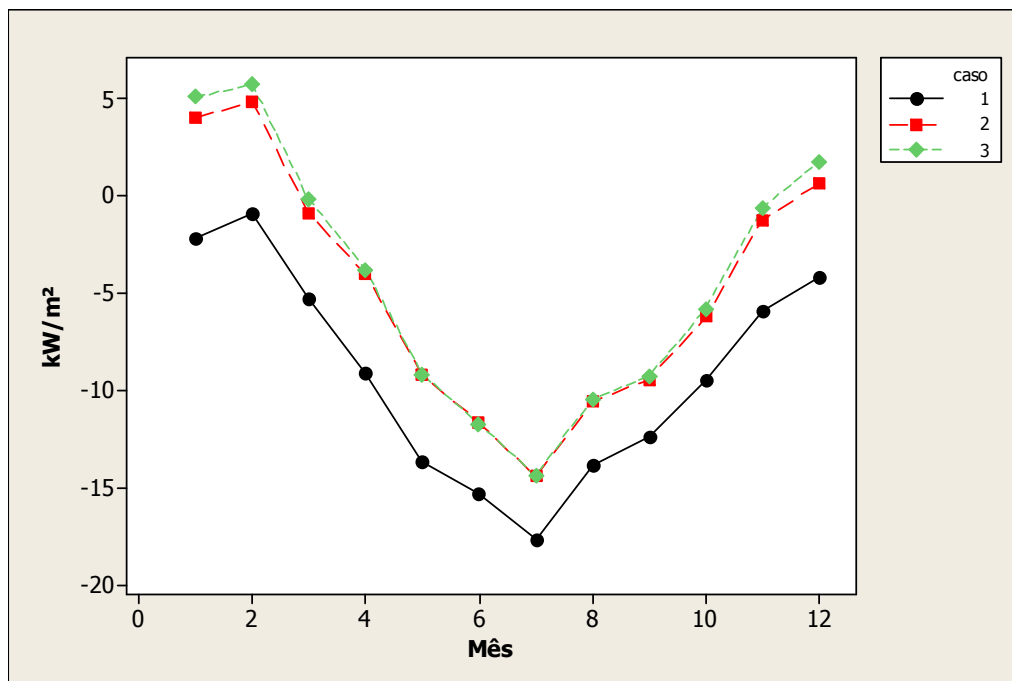


Figura 5.16: Gráfico de linhas dos protótipos em kW/m² por mês.

5.2.2.2. Condicionamento artificial

Os testes considerando o condicionamento artificial dos protótipos referência e 2 e 3 demonstram que as simplificações de modelagem considerando o aumento na altura do pé-direito total somente se aplicam para o último modelo citado, pois, o p -valor da comparação entre os modelos 1 e 2 é 0, portanto, menor que α (0,05), mas quando comparados o protótipo de referência com o de número 3, verifica-se que o p -valor é 0,3103, ou seja, maior que o valor atribuído a α . Ademais, apesar de as correlações apresentarem, em todos os casos, valores elevados, próximos a 100%, não permitem que se realize a simplificação proposta no modelo 2, pois, embora na comparação deste com o protótipo de referência o R^2 tenha chegado a 99,6%, o p -valor da ANOVA da análise de regressão foi menor que aquele adotado para α . Entretanto, quando se analisa a correlação entre os protótipos 1 e 3, tem-se que o R^2 foi igual a 99,1%, confirmando-se o resultado obtido para o p -valor, acima apresentado, demonstrando a possibilidade de simplificação, conforme se observa às Tabelas 5.12 a 5.14 e Figura 5.17.

Tabela 5.12: Resultado do teste de Dunnet da ANOVA

TESTE DE DUNNET						
Referência: Protótipo 1					Intervalo de confiança	
Prot.	Diferenças Médias	Diferença Erro ²	T-valor	p-valor ajustado	Menor	Maior
2	201,77	36,47	5,779	0,0000	124,60	296,9
3	49,72	36,47	1,363	0,3103	-36,45	135,9

Tabela 5.13: Resultado da análise de variância da regressão dos protótipos 1 e 2

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO					
Protótipo 1 com Protótipo 2					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	9226899	9226899	2220,5	0,000
Erro	10	41553	4155		
Total	11	9268452			

S= 64,4615 R²= 99,6% R² Ajustado= 99,5%

Tabela 5.14: Resultado da análise de variância da regressão dos protótipos 1 e 3

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO					
Protótipo 1 com Protótipo 3					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	9181121	9181121	1051,3	0,000
Erro	10	87331	8733		
Total	11	9268452			

S= 93,4509 R²= 99,1% R² Ajustado= 99,0%

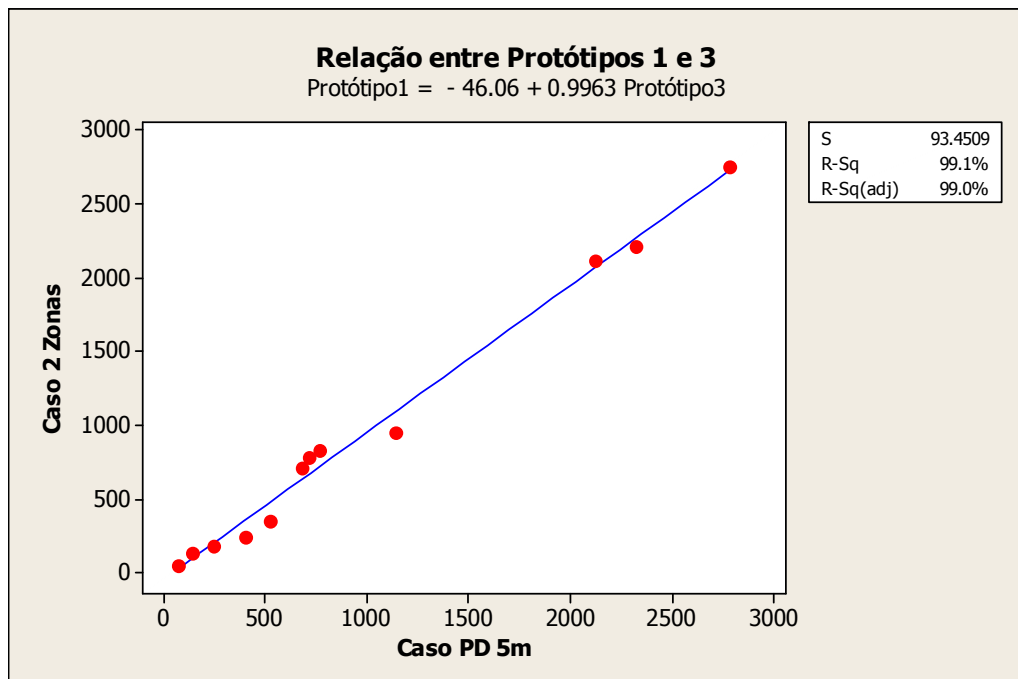


Figura 5.17: Relação entre os protótipos 1 e 3.

Igualmente, conforme as Figuras 5.18 a 5.20 relativas ao consumo energético dos três protótipos, elaboradas a partir da variação da altura do pé-direito total e considerando o condicionamento artificial das zonas térmicas, reforçam a mencionada possibilidade de simplificação com base no modelo 3 e o afastamento desse expediente com fundamento no protótipo 2.

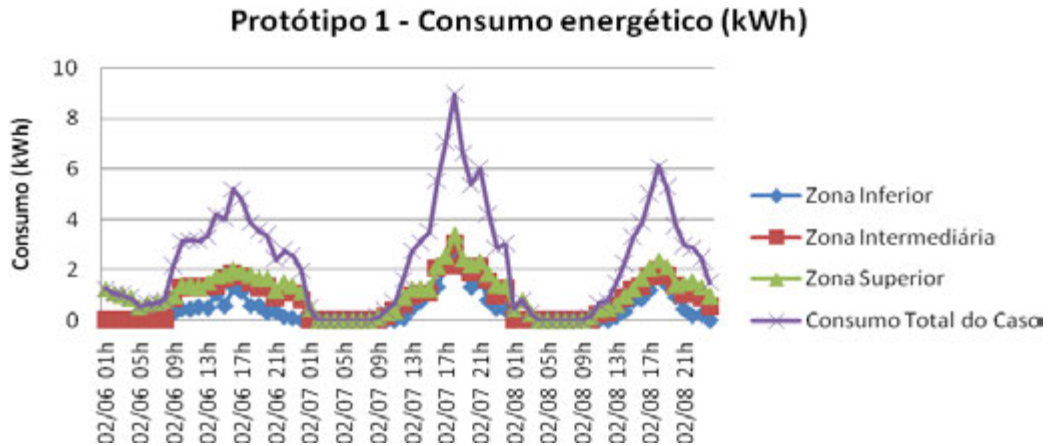


Figura 5.18: Consumo energético do protótipo 1 em kWh.

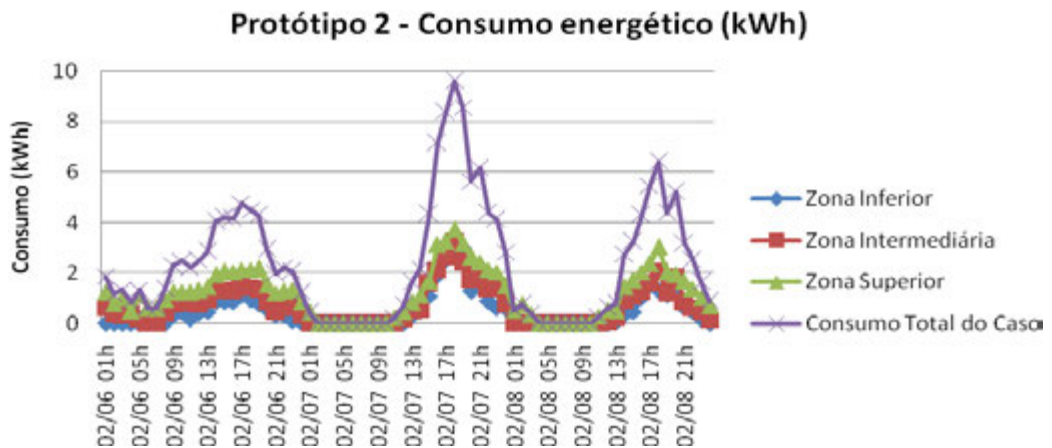


Figura 5.19: Consumo energético do protótipo 2 em kWh.

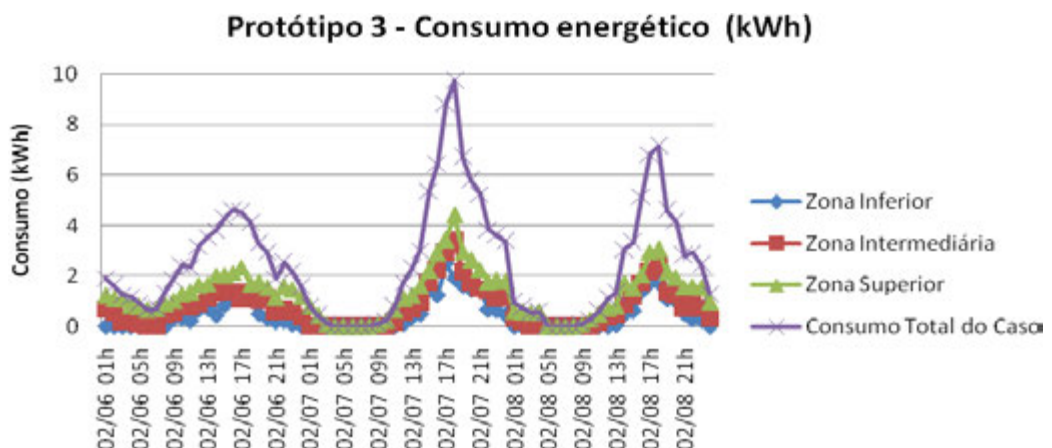


Figura 5.20: Consumo energético do protótipo 3 em kWh.

Na Tabela 5.15 é encontrado o consumo energético por mês e por protótipo, em kWh. Na Figura 5.21 confirma-se que os modelos de referência e o e número 2 diferem no que toca ao comportamento das linhas e picos de consumo energético do último protótipo citado, quando analisado frente ao protótipo 1.

Tabela 5.15: Consumo energético dos protótipos com aumento na altura do pé-direito (kWh)

Consumo Energético por Protótipo (kWh)											
Mês	Protótipo 1			Protótipo 2			Protótipo 3			TOTAL GERAL	
	Térreo	Intermediário	Cobertura	Térreo	Intermediário	Cobertura	Térreo	Intermediário	Cobertura		
Jan	520,8	1001,6	1234,8	619,0	1057,1	1428,8	480,3	925,9	1378,6	2757,3	2784,80
Fev	515,0	725,5	977,6	577,3	798,0	1146,7	484,8	725,2	1114,0	2218,1	2324,01
Mar	554,3	681,1	875,4	623,8	785,8	1000,5	519,5	676,1	928,0	2110,8	2123,63
Abr	110,4	102,7	131,2	110,5	131,8	198,4	121,0	156,2	241,9	344,4	519,09
Mai	1,7	15,0	31,7	2,8	55,7	60,6	2,2	29,1	34,6	48,4	65,92
Jun	133,4	259,5	385,1	192,0	435,3	471,0	104,9	276,5	329,6	777,9	711,07
Jul	201,5	199,9	303,4	258,8	362,5	389,3	174,8	226,2	273,0	704,7	674,00
Ago	314,1	208,3	304,5	359,4	369,9	374,3	272,5	238,3	255,9	826,8	766,72
Set	67,6	25,8	35,5	78,9	59,5	59,3	58,0	36,2	42,8	128,9	137,05
Out	60,9	44,9	74,5	80,1	97,8	122,8	55,8	70,4	112,6	180,4	238,85
Nov	8,1	92,4	144,9	11,4	119,6	226,8	7,5	126,3	268,7	245,4	402,54
Dez	92,6	363,0	495,0	116,4	399,4	642,1	87,0	381,2	674,6	950,6	1142,84

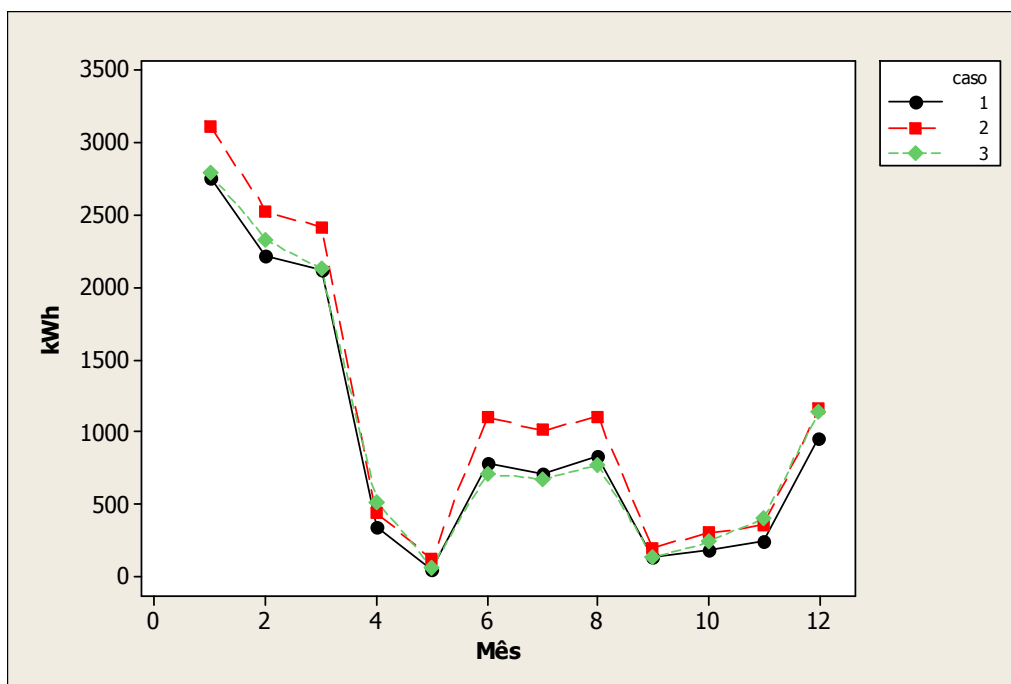


Figura 5.21: Gráfico de linhas dos protótipos em kWh por mês.

5.2.3. Casos com diferentes configurações de planta baixa (1.c)

5.2.3.1. Ventilação natural

Os resultados dos testes estatísticos, para os casos com diferentes configurações de planta baixa e modelados com ventilação natural, indicaram que somente o protótipo 7 é estatisticamente igual ao protótipo 1, ou seja, teve p -valor = 0,1679, que é maior que α (0,05), indicando a possibilidade de simplificação de configuração de planta baixa. A afirmação acima é corroborada pelos resultados obtidos nas correlações das análises de regressão, em que a única correlação alta encontrada foi entre os protótipos 1 e 7, com valor de $R^2 = 99,7\%$ (Tabelas 5.16 e 5.17).

Tabela 5.16: Resultado do teste de Dunnet da ANOVA

TESTE DE DUNNET						
Referência: Protótipo 1					Intervalo de confiança	
Prot.	Diferenças Médias	Diferença Erro ²	T-valor	p -valor ajustado	Menor	Maior
2	10,719	1,963	5,462	0,0000	5,298	16,140
3	7,891	1,963	4,021	0,0010	2,47	13,312
4	10,218	1,963	5,206	0,0000	4,797	15,638
5	13,219	1,963	6,736	0,0000	7,798	18,640
6	8,575	1,963	4,369	0,0003	3,154	13,996
7	4,412	1,963	2,248	0,1679	-1,009	9,833
8	12,272	1,963	6,253	0,0000	6,851	17,693
9	9,356	1,963	4,767	0,0001	3,935	14,777
10	15,992	1,963	8,148	0,0000	10,571	21,413
11	16,971	1,963	8,647	0,0000	11,55	22,392

Tabela 5.17: Resultado da análise de variância da regressão com os protótipos 1 e 7

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO					
Protótipo 1 com Protótipo 7					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	147,536	147,536	3096,6	0,000
Erro	10	0,476	0,048		
Total	11	148,013			

$$S = 0,218275 \quad R^2 = 99,7\% \quad R^2 \text{ Ajustado} = 99,6\%$$

As Figuras 5.22 a 5.24 demonstram os ganhos e as perdas térmicas em W/m^2 para três protótipos: o de referência (1), o igual estatisticamente e que possui menor diferença entre as médias (7), e o que é diferente estatisticamente e possui maior diferença entre as médias (11). As figuras dos demais protótipos não foram apresentadas, pois são muito semelhantes graficamente ao do protótipo 7, embora com

diferenças estatísticas que impossibilitam a simplificação a que as mesmas se referem. Na primeira figura, percebe-se que os maiores ganhos e perdas térmicas em W/m^2 ocorrem para todas as fachadas e variam entre $-50W/m^2$ e $50W/m^2$. Na segunda, verifica-se que as perdas continuam na faixa de $50W/m^2$, com picos de ganhos térmicos que chegam a $150W/m^2$. Nota-se, na última figura, que os picos entre os ganhos e perdas térmicas são muito maiores, chegando a $100W/m^2$ para as perdas e mais de $300W/m^2$ para os ganhos.

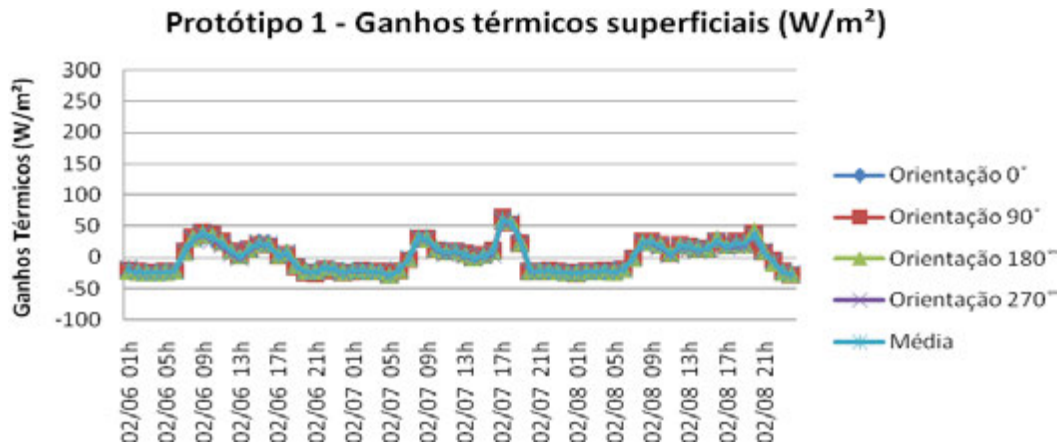


Figura 5.22: Ganhos térmicos do protótipo 1 em W/m^2 .

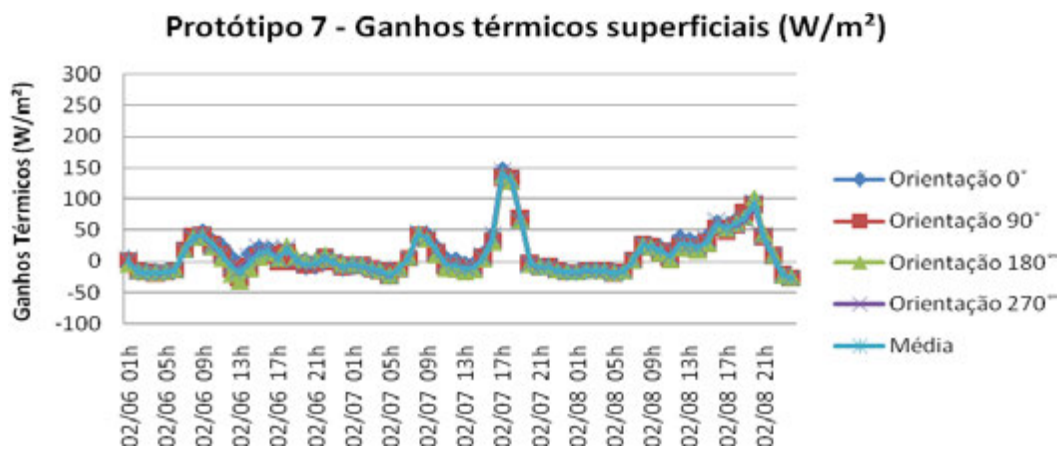


Figura 5.23: Ganhos térmicos do protótipo 7 em W/m^2 .

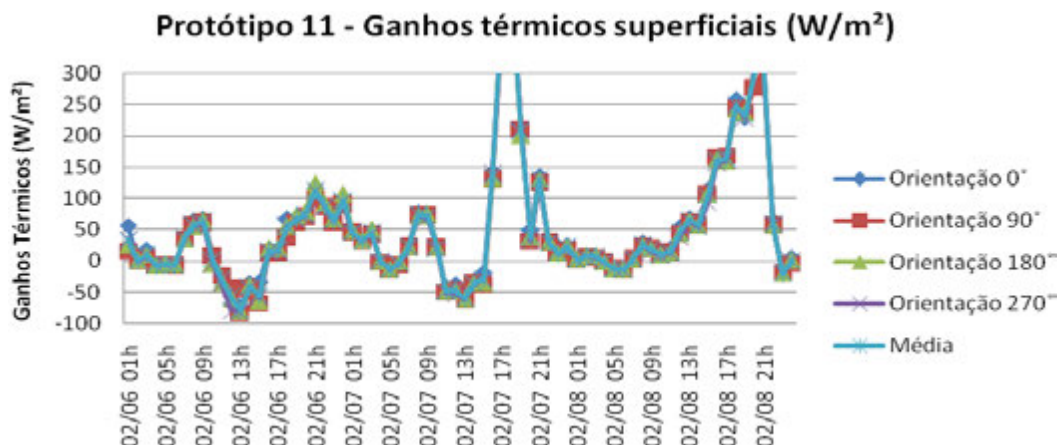


Figura 5.24: Ganhos térmicos do protótipo 11 em W/m^2 .

Na Tabela 5.18 são apresentadas as médias dos ganhos térmicos por mês e por protótipo, em kW/m². A Figura 5.25 demonstra os ganhos térmicos para cada protótipo por mês, em que se comprova a diferença entre eles, pois o comportamento das linhas é bem diferente e distante daquele do protótipo de referência (1). Além disso, verifica-se que o protótipo 7 é o que possui comportamento semelhante e mais próximo ao do modelo de referência. A Figura 5.26 comprova a igualdade entre os protótipos 1 e 7 pela alta correlação existente.

Tabela 5.18: Média dos ganhos térmicos por protótipo (kW/m²)

Mês	Médias dos Ganhos Térmicos por Protótipo (kW/m ²)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jan	-3,15	29,61	7,80	14,41	17,49	9,98	3,08	18,0	16,25	24,53	24,28
Fev	-0,60	28,35	10,20	15,12	18,98	12,43	6,11	19,0	18,79	30,12	29,97
Mar	-4,25	27,76	5,34	8,14	12,23	6,47	1,26	11,4	9,56	18,06	18,77
Abr	0,91	19,19	14,09	14,78	21,59	15,01	9,09	20,7	20,45	37,67	38,35
Mai	-5,14	2,55	2,68	1,74	6,21	2,92	-0,34	4,0	1,02	11,41	12,86
Jun	-7,85	-12,49	-3,33	-4,84	-2,04	-3,45	-5,13	-4,7	-9,18	-3,69	-1,99
Jul	-9,25	-14,26	-4,17	-4,48	-2,25	-4,80	-6,78	-4,2	-8,88	-5,61	-3,73
Ago	-9,16	-16,74	-3,20	-2,42	-0,22	-3,60	-6,20	-1,7	-6,13	-1,84	0,04
Set	-10,57	-8,41	-5,74	-3,28	-2,67	-6,17	-8,57	-3,1	-8,01	-8,08	-6,64
Out	-9,59	-7,24	-3,90	-1,06	0,38	-3,61	-6,88	-0,5	-4,31	-2,96	-1,76
Nov	-7,11	0,71	0,10	4,74	6,60	1,56	-3,30	6,1	3,16	6,90	7,63
Dez	-5,50	8,34	3,56	8,50	11,07	4,90	-0,66	11,0	8,29	14,13	14,61

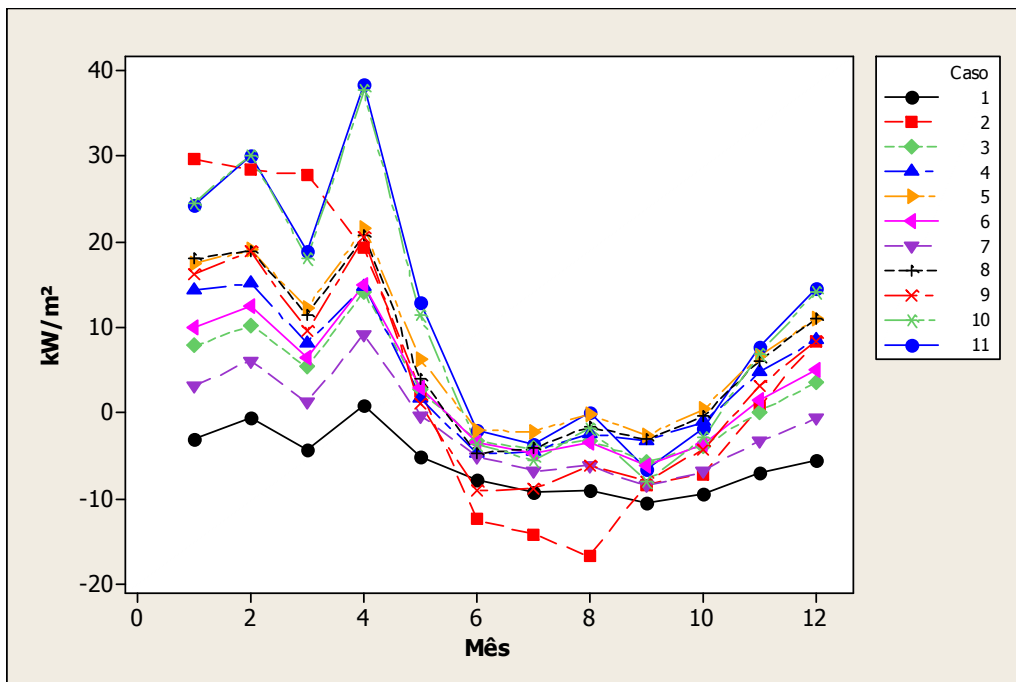


Figura 5.25: Gráfico de linhas dos protótipos em função da carga térmica, kW/m², por mês.

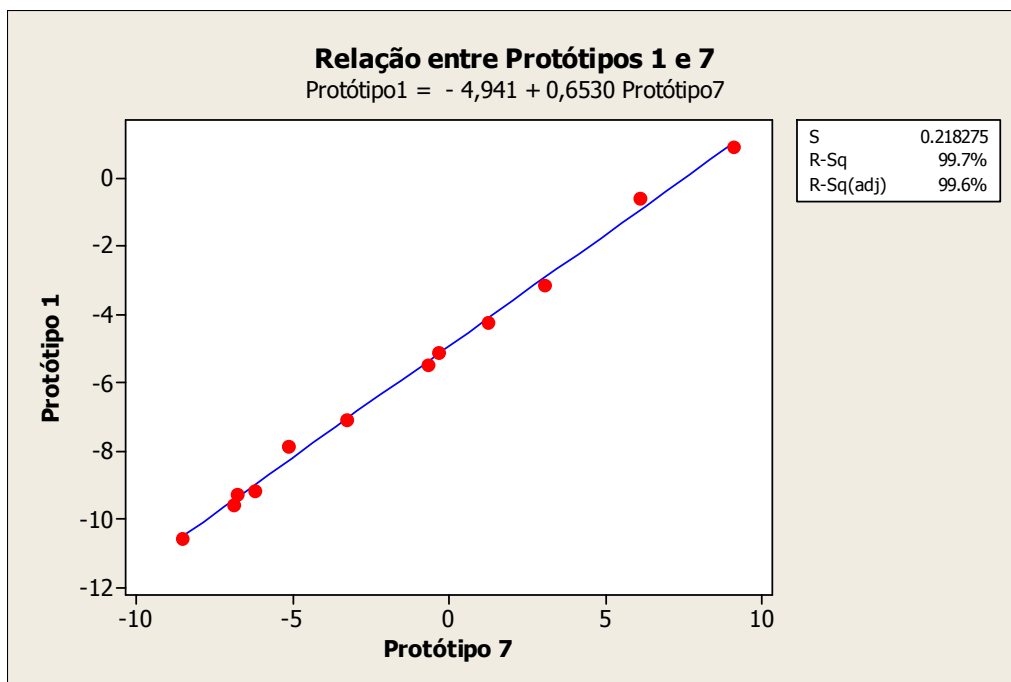


Figura 5.26: Relação entre os protótipos 1 e 7.

5.2.3.2. Condicionamento artificial

Os resultados dos testes estatísticos dos casos com diferentes configurações de planta baixa, modelados com condicionamento artificial, indicaram que os protótipos 2, 3, 5, 7, 8 e 11 são estatisticamente iguais ao protótipo de referência, pois tiveram *p*-valor maior que α (0,05). Além disso, as correlações obtidas para os protótipos mencionados foram altas, como pode ser comprovado pelas Tabelas 5.19 a 5.21, apresentando-se, aqui, somente os resultados referentes aos modelos 7 e 8, quando comparados ao protótipo de referência, por apresentarem as maiores correlações, conforme se observa nas Figuras 5.27 e 5.28.

Tabela 5.19: Resultado do teste de Dunnet da ANOVA

TESTE DE DUNNET						
Referência: Protótipo 1					Intervalo de confiança	
Prot.	Diferenças Médias	Diferença Erro ²	T-valor	<i>p</i> -valor ajustado	Menor	Maior
2	-1,8	46,34	-0,039	1,0000	-129,8	126,210
3	-0,4	46,34	-0,009	1,0000	-128,5	127,570
4	206,1	46,34	4,446	0,0002	78,1	334,080
5	-117,0	46,34	-2,525	0,0901	-245	10,980
6	-182,4	46,34	-3,937	0,0013	-310,4	-54,430
7	0,0	46,34	0	1,0000	-128	128,010
8	37,5	46,34	0,808	0,9789	-90,5	165,470
9	-200,5	46,34	-4,327	0,0003	-328,6	-72,540
10	-148,1	46,34	-3,195	0,0149	-276,1	-20,060
11	-117,0	46,34	-2,524	0,0904	-245	11,040

Tabela 5.20: Resultado da análise de variância da regressão com os protótipos 1 e 7

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO					
Protótipo 1 com Protótipo 7					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	15148237	15148237	*	*
Erro	10	0	0		
Total	11	15148237			

S= 0,0 R²= 100,0% R² Ajustado= 100,0%

Tabela 5.21: Resultado da análise de variância da regressão com os protótipos 1 e 8

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO					
Protótipo 1 com Protótipo 8					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	15122127	15122127	5791,5	0,000
Erro	10	26111	2611		
Total	11	15148237			

S= 51,0987 R²= 99,8% R² Ajustado= 99,8%

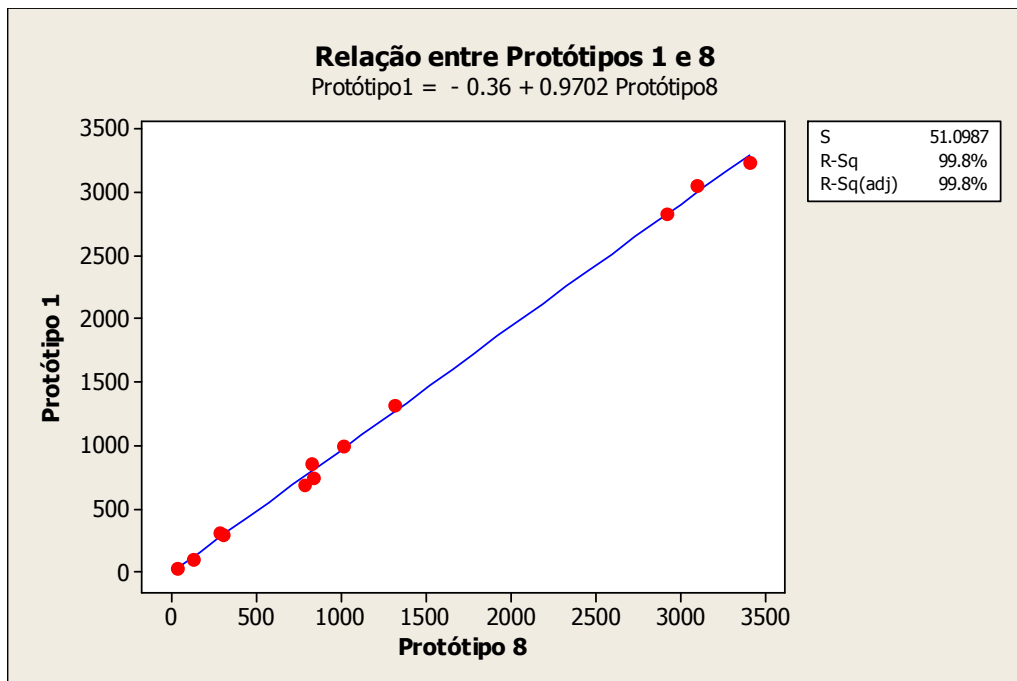


Figura 5.27: Relação entre protótipos 1 e 8.

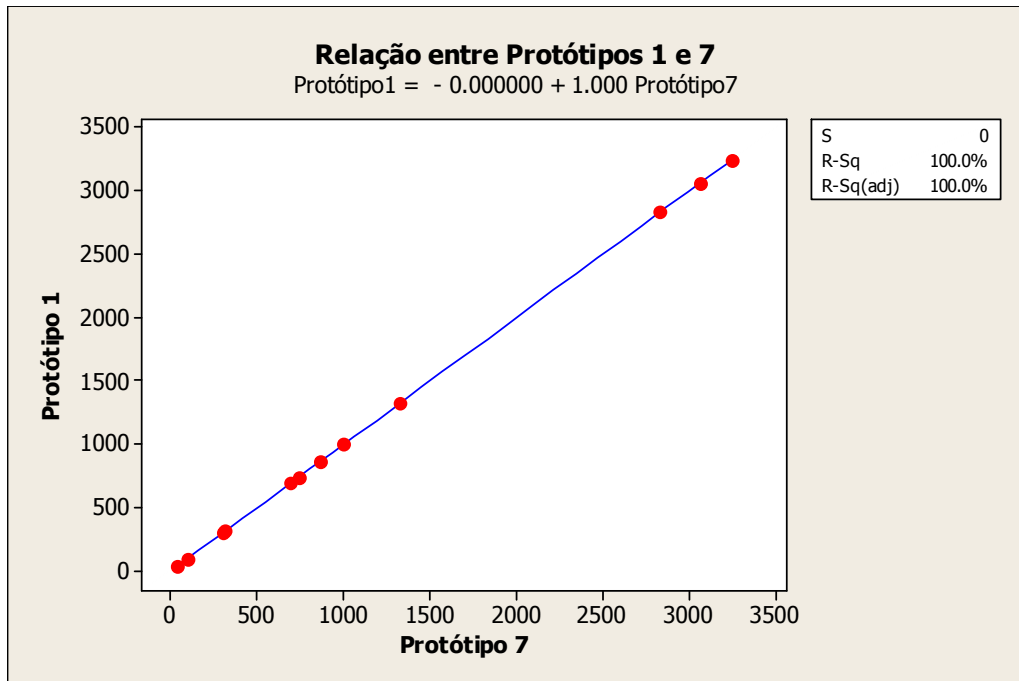


Figura 5.28: Relação entre protótipos 1 e 7.

As Figuras 5.29 a 5.31 demonstram o consumo energético, em kWh, de três protótipos: o de referência (1); o igual estatisticamente e que possui menor diferença entre as médias (7); e aquele que apresenta a maior diferença estatística (diferença entre as médias) face ao protótipo de referência (4). Em todas as figuras, percebe-se que os consumos energéticos dos protótipos se comportam da mesma forma, ocorrendo os picos de consumo quando rotacionados para a orientação de 90°; contudo, o protótipo 4 difere do modelo de referência e daquele que lhe é estatisticamente igual, pois, nesses casos, o pico máximo chega a aproximadamente 11,0kWh, enquanto naquele, ultrapassa 12 kWh.

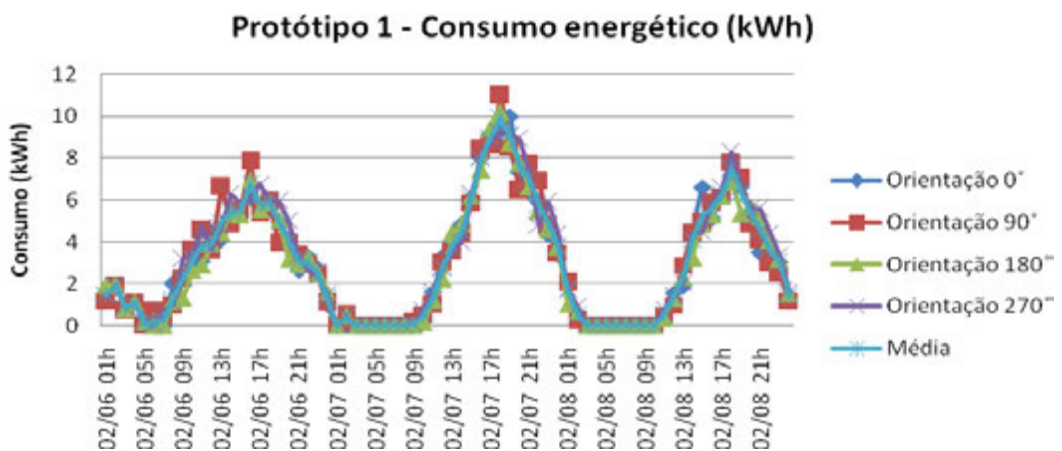


Figura 5.29: Consumo energético do protótipo 1 em kWh.

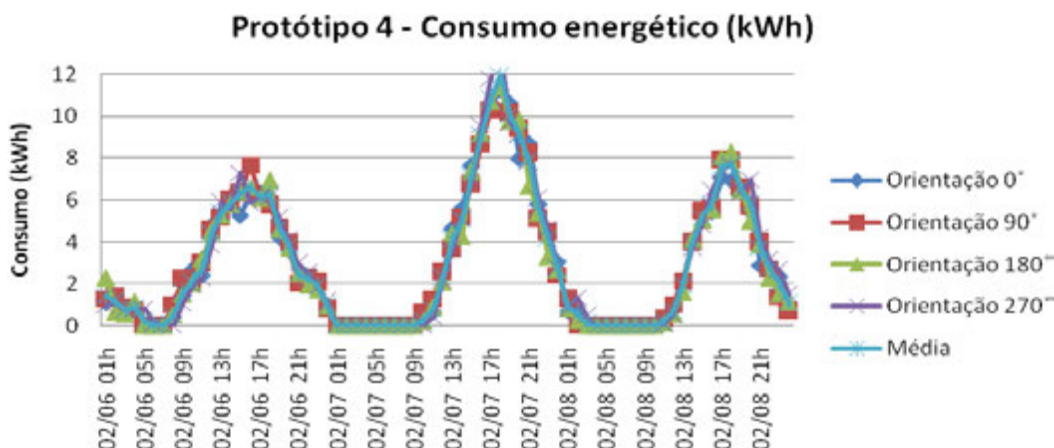


Figura 5.30: Consumo energético do protótipo 4 em kWh.

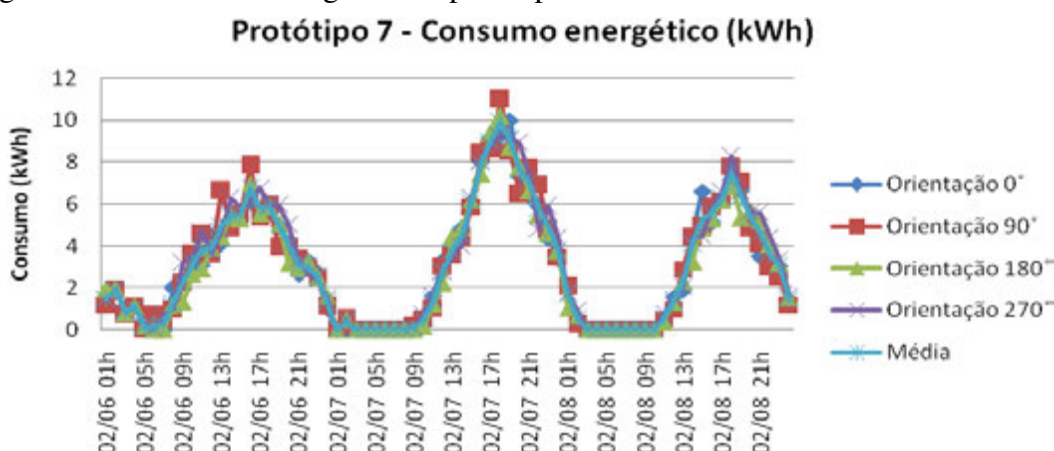


Figura 5.31: Consumo energético do protótipo 7 em kWh.

Na Tabela 5.22 são apresentadas as médias do consumo energético por mês e por protótipo, em kWh. Contudo, como se observa na Figura 5.32, as linhas referentes a todos os protótipos elaborados têm grande proximidade gráfica, impossibilitando qualquer esquadramento referente à igualdade ou dessemelhança entre os modelos, o que obriga desconsiderar os resultados auferidos pelo comportamento das linhas, utilizando-se somente aqueles provenientes da ANOVA e da análise de regressão.

Tabela 5.22: Média do consumo energético por protótipo (kWh).

Mês	Médias do Consumo Energético por Protótipo (kWh)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jan	3243,3	3434,2	3394,3	3529,2	3010,1	2822,4	3243,3	3405,3	2900,5	2991,9	3047,2
Fev	3062,8	3223,3	3235,5	3153,7	2840,5	2727,8	3062,8	3097,0	2801,8	2926,6	3022,2
Mar	2831,7	3006,0	3024,4	2901,4	2722,1	2603,9	2831,7	2919,3	2549,6	2702,9	2782,6
Abr	856,2	870,9	871,9	830,1	753,0	794,5	856,2	818,6	865,8	905,4	910,2
Mai	29,8	21,6	23,4	91,4	20,5	22,3	29,8	32,5	27,8	27,5	26,0
Jun	687,0	580,9	589,3	1141,4	586,4	473,5	687,0	781,5	368,8	406,6	422,2
Jul	994,7	845,2	842,2	1457,2	812,3	721,0	994,7	1013,9	595,5	664,5	692,9
Ago	1320,9	1123,9	1122,8	1789,4	1113,6	1005,6	1320,9	1311,3	816,0	919,5	966,5
Set	311,4	224,8	219,8	480,6	213,5	198,2	311,4	281,9	156,1	176,2	192,5
Out	301,8	236,9	237,4	459,1	229,7	204,3	301,8	297,5	166,2	186,8	193,8
Nov	93,1	93,6	100,1	194,3	82,0	73,7	93,1	126,9	100,8	85,0	84,2
Dez	739,7	789,5	805,9	917,4	684,2	635,9	739,7	836,6	716,7	702,7	728,4

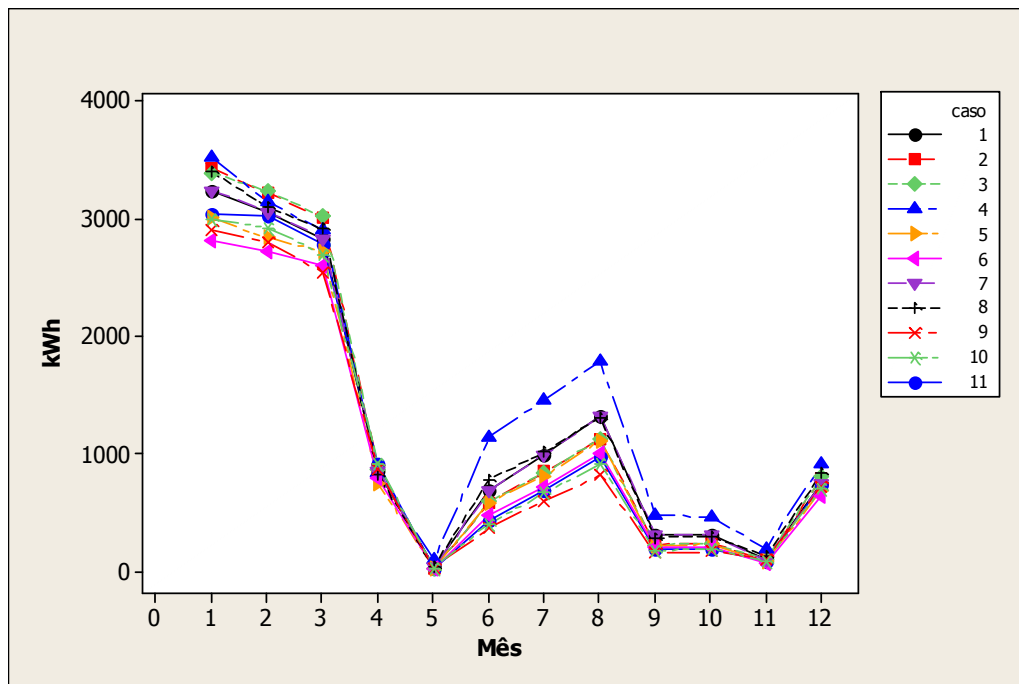


Figura 5.32: Gráfico de linhas dos protótipos em kWh por mês.

5.2.4. Estudo realizado com uma sala da biblioteca (b)

5.2.4.1. Ventilação natural

Os resultados dos testes estatísticos dos casos modelados com ventilação natural indicaram que todos os três casos são diferentes entre si. Embora o resultado da ANOVA tenha indicado o *p*-valor maior do que α (0,05) entre os protótipos 1 e 2, a análise de regressão indica o contrário, $R^2 = 4,5\%$, valor baixo que não pode ser considerado como significativo para igualdade entre os casos. Os protótipos 1 e 3 tiveram *p*-valor menor que α (0,05), e a análise de regressão apresentou $R^2 = 98,9\%$, o que poderia indicar uma igualdade, a qual se afasta, pois os resultados de ambos os testes não foram satisfatórios. Em ambas as comparações, portanto, chega-se à mesma interpretação: a impossibilidade de simplificação, nos termos das Tabelas 5.23 a 5.25 e das Figuras 5.33 e 5.34.

Tabela 5.23: Resultado do teste Dunnet da ANOVA

TESTE DE DUNNET						
Referência: Protótipo 1					Intervalo de confiança	
Prot.	Diferenças Médias	Diferença Erro ²	T-valor	<i>p</i> -valor ajustado	Menor	Maior
2	-1,976	1,339	-1,476	0,2603	-5,140	1,188
3	-4,959	1,339	-3,704	0,0024	-8,123	-1,795

Tabela 5.24: Resultado da análise de variância da regressão dos protótipos 1 e 2

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO					
Protótipo 1 com Protótipo 2					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	20,859	20,8587	0,47	0,509
Erro	10	445,471	44,5471		
Total	11	466,329			

S= 6,67436 R²= 4,5% R² Ajustado= 0,0%

Tabela 5.25: Resultado da análise de variância da regressão dos protótipos 1 e 3

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO					
Protótipo 1 com Protótipo 3					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	461,203	461,203	899,7	0,000
Erro	10	5,126	0,513		
Total	11	466,329			

S= 0,715976 R²= 98,9% R² Ajustado= 98,8%

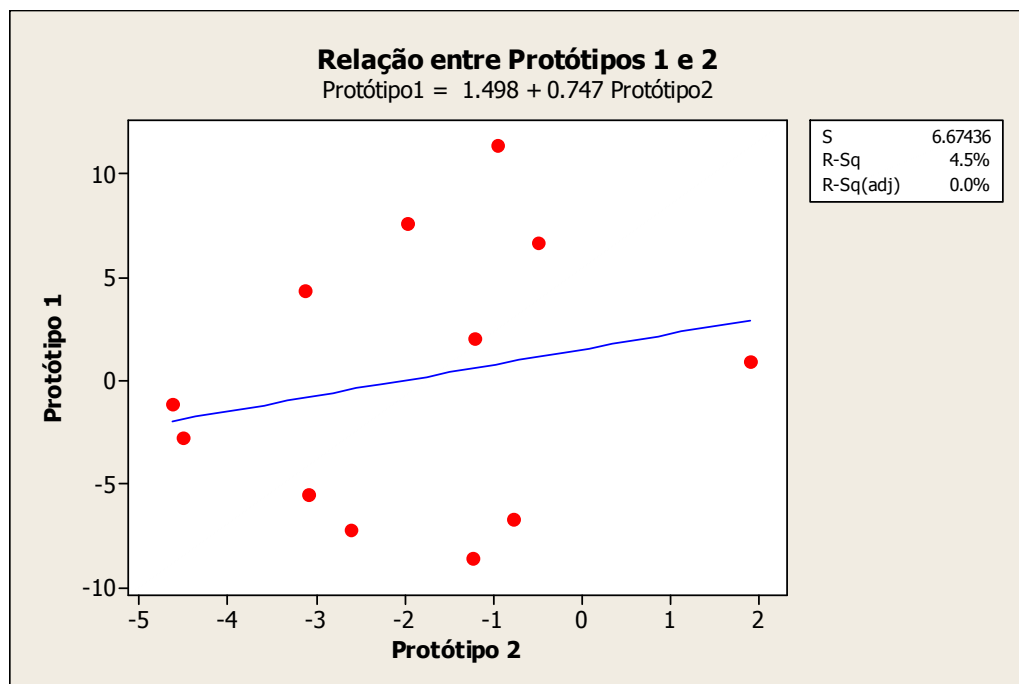


Figura 5.33: Relação entre os protótipos 1 e 2.

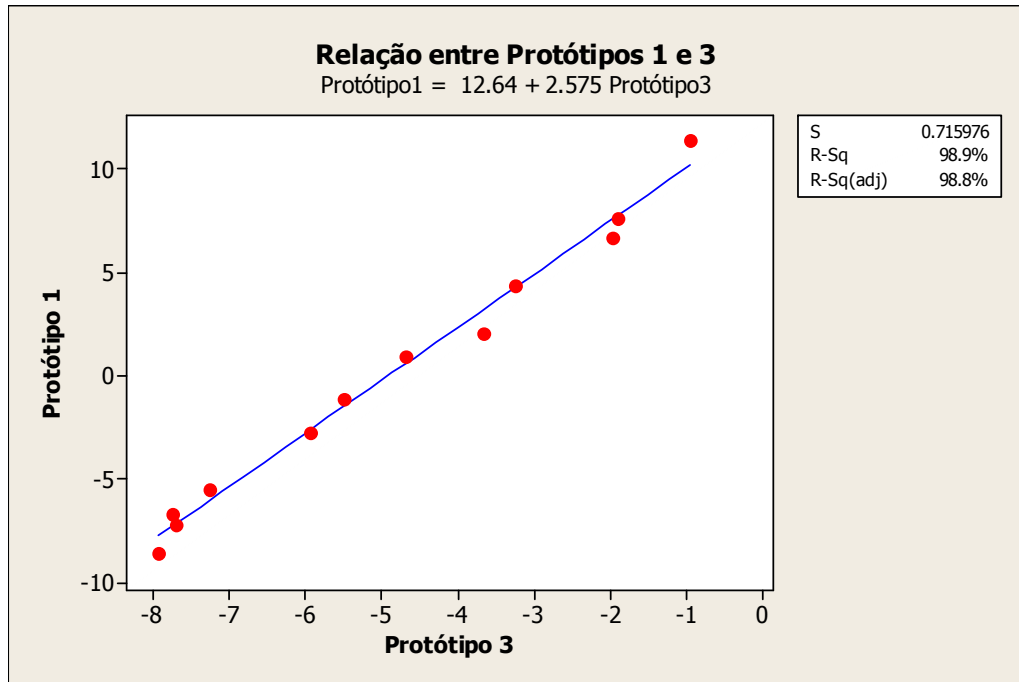


Figura 5.34: Relação entre os protótipos 1 e 3.

Corroborar a afirmação acerca da impossibilidade de simplificação do modelo a análise apresentada nas Figuras 5.35 a 5.37, em que se verificam os ganhos e as perdas térmicas em W/m^2 . No modelo de referência, os picos de ganho térmico ultrapassam $25,0W/m^2$, enquanto no protótipo 2, o pico chega a $15,0W/m^2$, e, no terceiro caso, a $10,0W/m^2$.

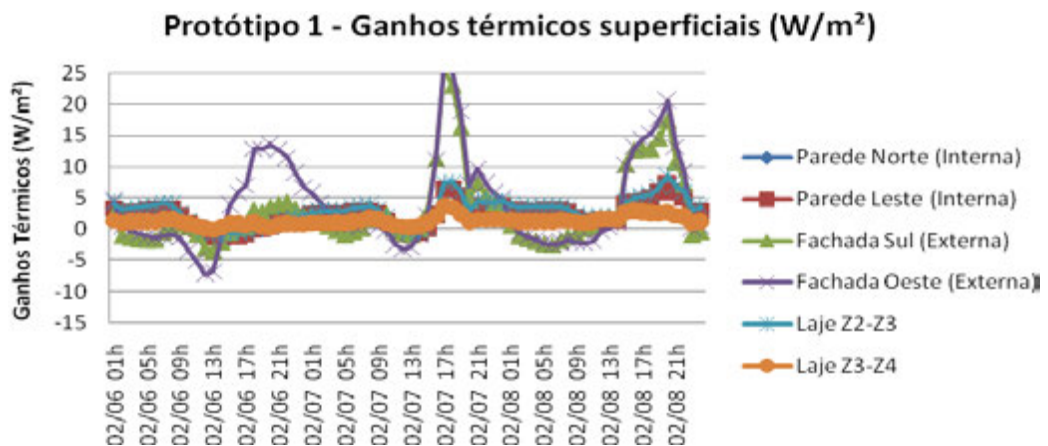


Figura 5.35: Ganhos térmicos do protótipo 1 em W/m^2 .

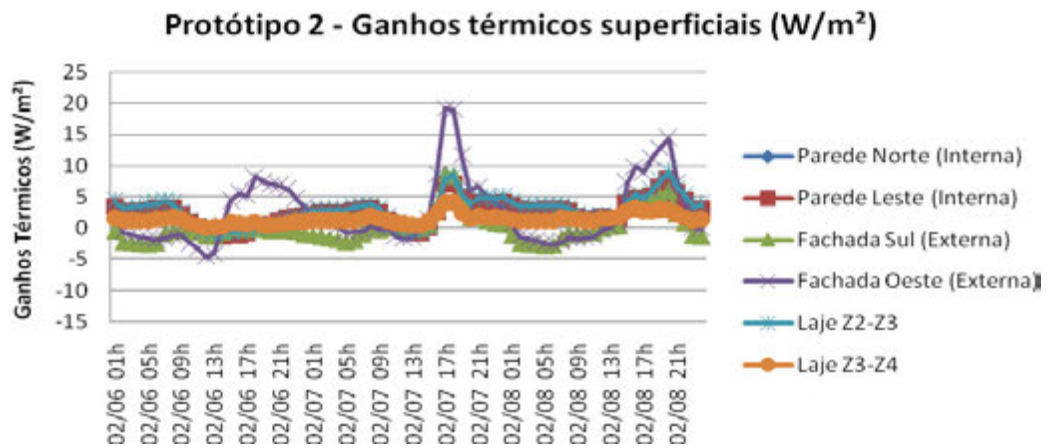


Figura 5.36: Ganhos térmicos do protótipo 2 em W/m².

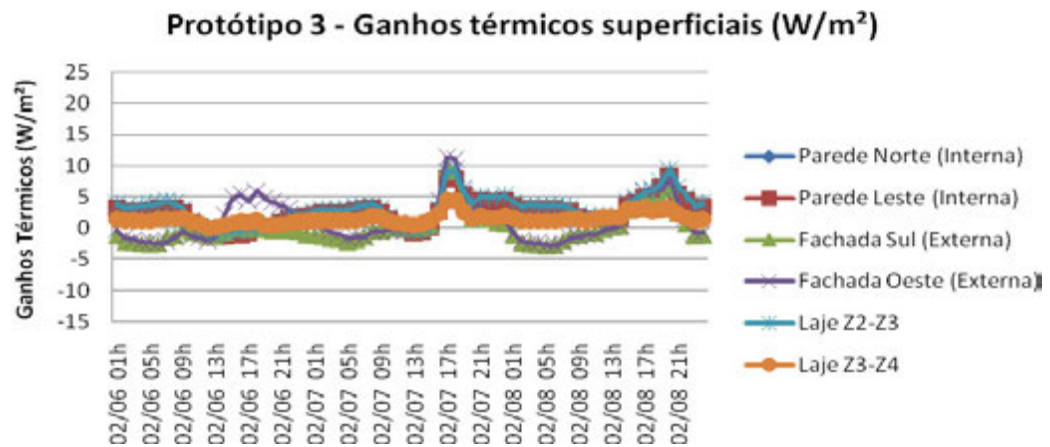


Figura 5.37: Ganhos térmicos do protótipo 3 em W/m².

Na Tabela 5.26 são apresentadas as médias dos ganhos térmicos por mês e por protótipo, em kW/m². A Figura 5.38 ilustra os ganhos e perdas térmicas para cada protótipo por mês, comprovando que os três protótipos são diferentes estatisticamente, pois, além de haver muita discrepância entre o comportamento das linhas, elas se cruzam em vários pontos.

Tabela 5.26: Ganhos térmicos dos protótipos em sala da biblioteca (kW/m²)

Mês	Ganhos Térmicos por Protótipo (kW/m ²)											
	Protótipo 1				Protótipo 2				Protótipo 3			
	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL
Jan	3,80	3,67	3,92	11,39	0,01	0,71	-1,67	-0,95	0,03	0,18	-1,17	-0,95
Fev	2,47	1,95	2,26	6,68	1,09	0,18	-1,77	-0,50	-0,09	-0,37	-1,51	-1,98
Mar	1,21	0,27	0,53	2,01	0,93	-0,53	-1,61	-1,21	-0,69	-1,18	-1,79	-3,67
Abr	0,83	-0,30	0,37	0,90	3,89	-0,50	-1,48	1,91	-0,44	-1,81	-2,43	-4,68
Mai	-2,16	-2,65	-1,90	-6,71	3,36	-1,90	-2,23	-0,78	-1,66	-2,94	-3,15	-7,75
Jun	-3,35	-2,96	-2,26	-8,56	2,86	-2,10	-1,99	-1,23	-2,07	-2,97	-2,89	-7,93
Jul	-2,38	-2,68	-2,19	-7,25	1,24	-1,92	-1,93	-2,61	-2,16	-2,77	-2,78	-7,70
Ago	-1,53	-2,20	-1,77	-5,51	0,82	-1,79	-2,12	-3,09	-1,94	-2,55	-2,77	-7,27
Set	-0,37	-1,23	-1,17	-2,77	-1,10	-1,36	-2,06	-4,51	-1,76	-1,86	-2,33	-5,94
Out	0,32	-0,80	-0,69	-1,17	-0,93	-1,31	-2,40	-4,64	-1,42	-1,69	-2,38	-5,50
Nov	2,05	1,09	1,24	4,38	-0,56	-0,43	-2,15	-3,14	-0,64	-0,79	-1,82	-3,24
Dez	3,10	2,33	2,17	7,60	-0,07	0,05	-1,96	-1,97	-0,14	-0,28	-1,48	-1,91

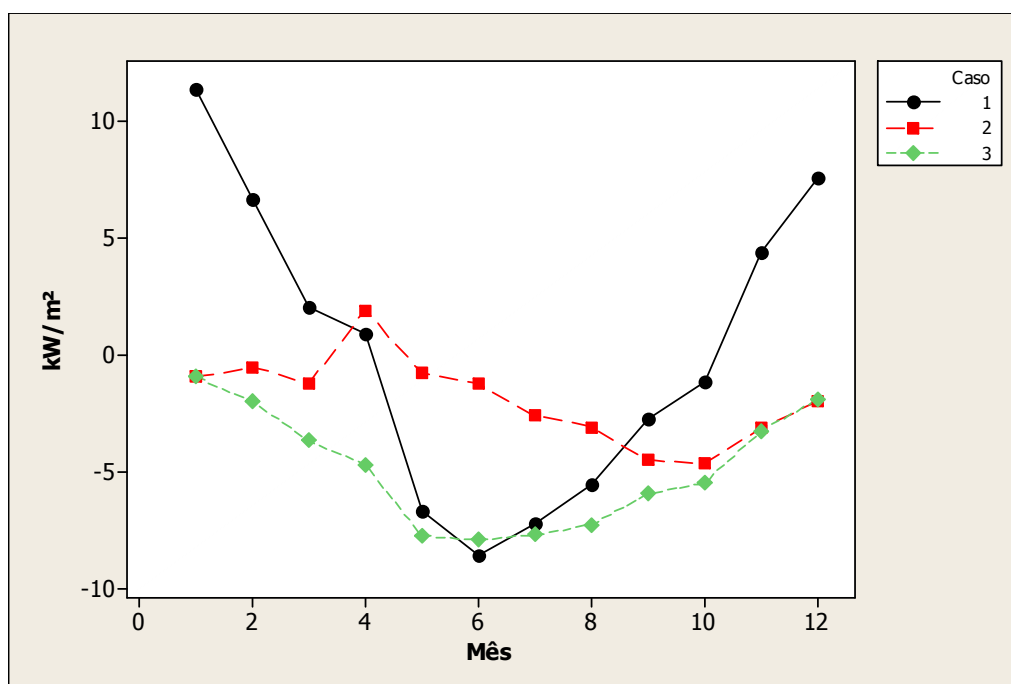


Figura 5.38: Gráfico de linhas dos protótipos em função dos ganhos térmicos em kW/m², por mês.

5.2.4.2. Condicionamento artificial

De acordo com os resultados dos testes realizados com condicionamento artificial nas salas da biblioteca, verificou-se que o protótipo 2 é estatisticamente igual ao protótipo de referência, pois o *p*-valor foi igual a 0,1796, portanto maior que α (0,05)

e o R^2 chegou a 99,7% (Figura 5.39), o que implica na possibilidade de simplificação, conforme apresentado na Figura 4.65. Em relação à comparação entre os modelos 1 e 3, observou-se que o resultado da ANOVA indicou o p -valor menor do que α , embora a análise de regressão tenha fornecido R^2 equivalente a 99,8%, o que, contudo, não indica a similitude, pois o primeiro teste leva à desconsideração de todo o protótipo, nos termos apresentados pelas Tabelas 5.27 a 5.29.

Tabela 5.27: Resultado do teste de Dunnet da ANOVA

TESTE DE DUNNET						
Referência: Protótipo 1					Intervalo de confiança	
Prot.	Diferenças Médias	Diferença Erro ²	T-valor	p -valor ajustado	Menor	Maior
2	31,75	18,71	1,697	0,1796	-12,45	75,940
3	68,94	18,71	3,686	0,0025	24,75	113,14

Tabela 5.28: Resultado da análise de variância da regressão dos protótipos 1 e 2

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO					
Protótipo 1 com Protótipo 2					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	8951896	8951896	3124,07	0,000
Erro	10	28655	2865		
Total	11	8980551			

S= 53,5300 $R^2= 99,7\%$ R^2 Ajustado= 99,6%

Tabela 5.29: Resultado da análise de variância da regressão dos protótipos 1 e 3

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO					
Protótipo 1 com Protótipo 3					
	GL	SQ	QM	F	P
Regressão	1	8961746	8961746	4765,8	0,000
Erro	10	18804	1880		
Total	11	8980551			

S= 43,3640 $R^2= 99,8\%$ R^2 Ajustado= 99,8%

As Figuras 5.40 a 5.42 comprovam o consumo energético em kWh dos três protótipos. Verifica-se que, nos três casos, os consumos energéticos se assemelham por zona, apesar de o consumo total discrepar entre os modelos.

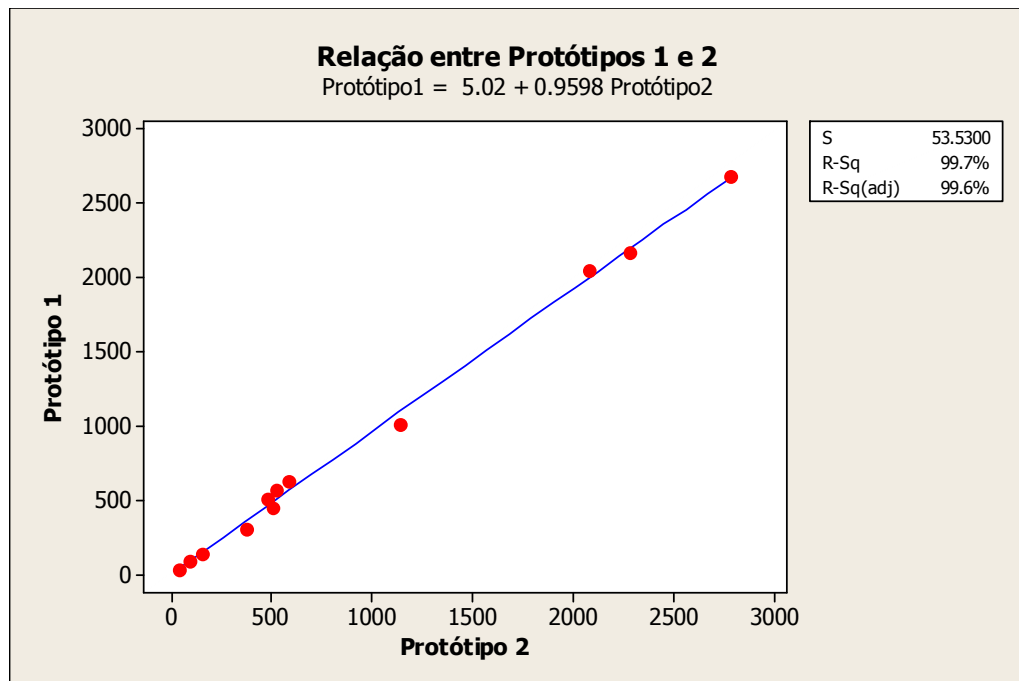


Figura 5.39: Relação entre os protótipos 1 e 2.

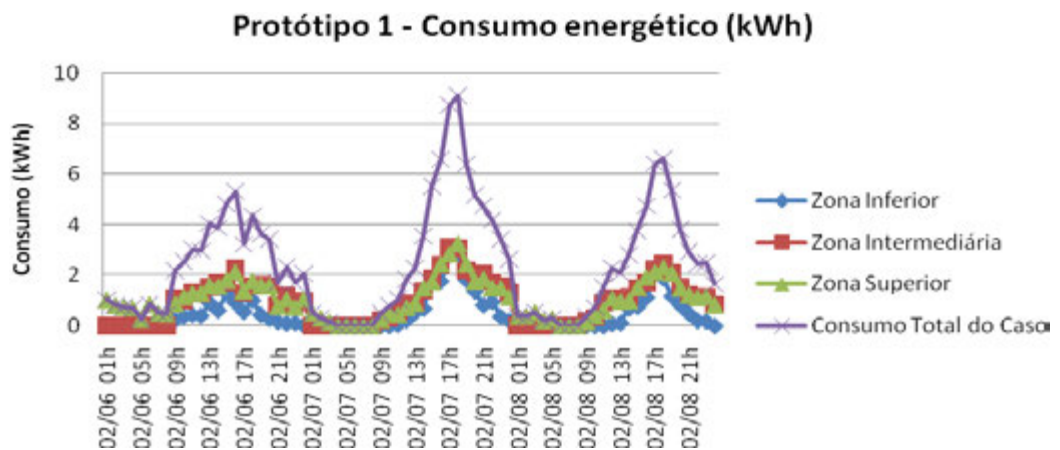


Figura 5.40: Consumo energético do protótipo 1 em kWh.

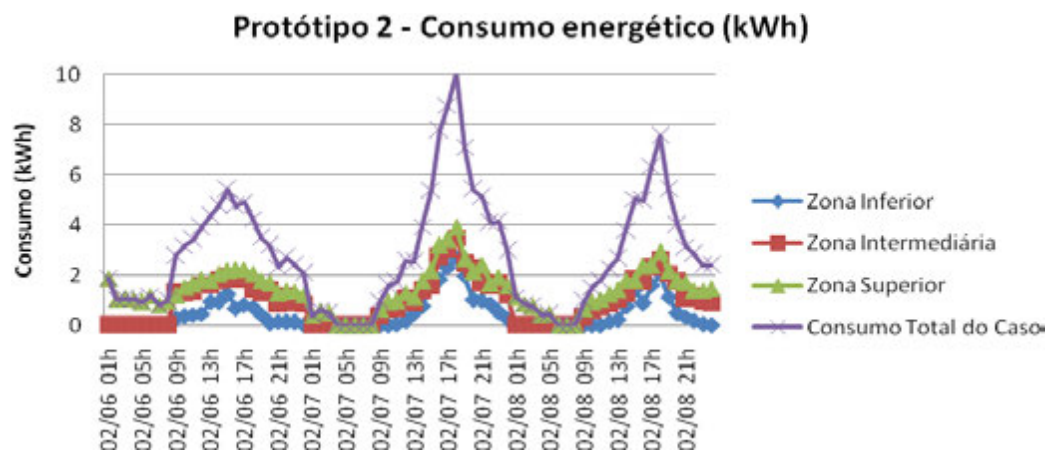


Figura 5.41: Consumo energético do protótipo 2 em kWh.

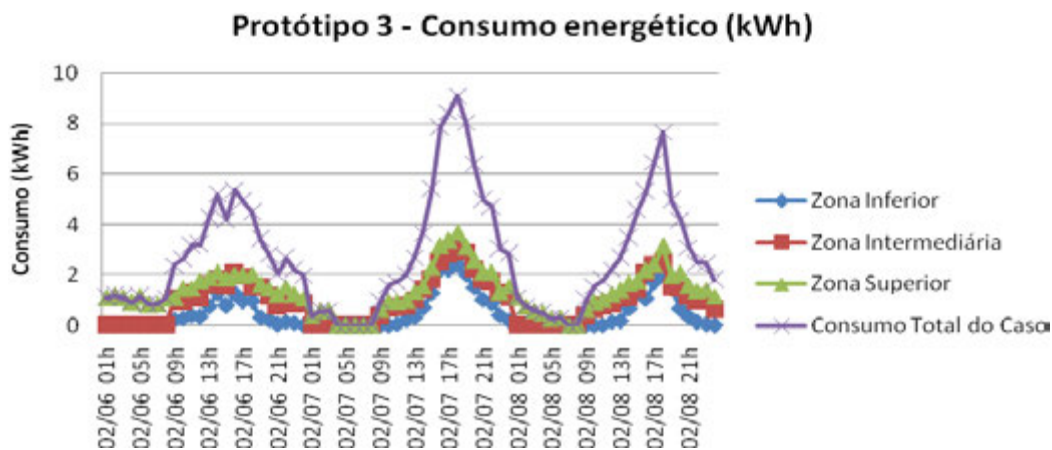


Figura 5.42: Consumo energético do protótipo 3 em kWh.

Os gráficos foram feitos por pavimento, nos ambientes monitorados que tiveram o pior desempenho térmico: no pavimento térreo, a sala de restauração, a área de referência, a sala de reserva e a sala de intercâmbio; no primeiro pavimento, a sala de obras raras, a sala de coleções da UFV, a sala de estudos individuais (1Z23) e a sala da biblioteca da ONU; no segundo pavimento, a área de acervo de livros B, C e E (dividido em cinco zonas para a modelagem) e a sala de TV e vídeo; e no terceiro pavimento, a área de acervo de periódicos B e E (dividido em quatro zonas para a modelagem), a sala de depósitos de livros não utilizados e a sala de Diário Oficial.

O consumo energético, por mês e por caso, em kWh, é apresentado na Tabela 5.30.

Tabela 5.30: Consumo energético dos protótipos da sala da biblioteca (kWh)

Mês	Consumo Energético por Protótipo (kWh)											
	Protótipo 1				Protótipo 2				Protótipo 3			
	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL	Térreo	Intermediário	Cobertura	TOTAL GERAL
Jan	452,1	1024,8	1203,0	2679,86	437,3	1048,9	1397,5	2883,65	418,7	994,7	1365,2	2778,57
Fev	464,1	781,8	917,5	2163,40	453,6	799,6	1125,0	2378,23	440,9	763,3	1078,5	2282,58
Mar	506,9	701,1	837,9	2045,80	486,7	717,8	955,3	2159,83	475,0	685,8	913,2	2074,01
Abr	145,0	152,6	146,9	444,3	142,3	156,7	208,5	507,56	137,8	155,7	207,5	501,06
Mai	2,6	10,7	18,6	31,90	2,3	10,2	18,3	30,81	2,9	10,2	19,2	32,33
Jun	78,3	183,5	305,7	567,48	75,8	182,0	299,2	557,02	72,9	170,0	276,7	519,69
Jul	145,2	135,0	221,5	501,67	147,3	135,0	223,3	505,58	136,5	125,6	208,7	470,74
Ago	251,8	138,6	241,1	631,49	256,9	140,1	223,0	619,96	241,8	128,5	208,2	578,54
Set	56,3	14,0	22,3	92,58	58,7	13,3	21,2	93,15	53,4	12,8	21,0	87,28
Out	47,2	36,4	56,4	139,97	47,5	36,1	72,1	155,64	45,4	35,0	70,0	150,40
Nov	9,2	134,3	154,3	297,77	8,1	135,9	235,1	379,04	9,2	135,8	228,5	373,45
Dez	81,9	431,5	496,3	1009,63	75,9	438,3	648,6	1162,84	77,9	429,0	631,4	1138,32

Na Figura 5.43, tem-se o consumo mensal para cada protótipo, observando-se a aproximação gráfica de cada um deles, o que denota que essa análise não se mostra adequada para esquadriñar o grau de igualdade dos protótipos, restringindo esta averiguação aos resultados da ANOVA e da análise de regressão.

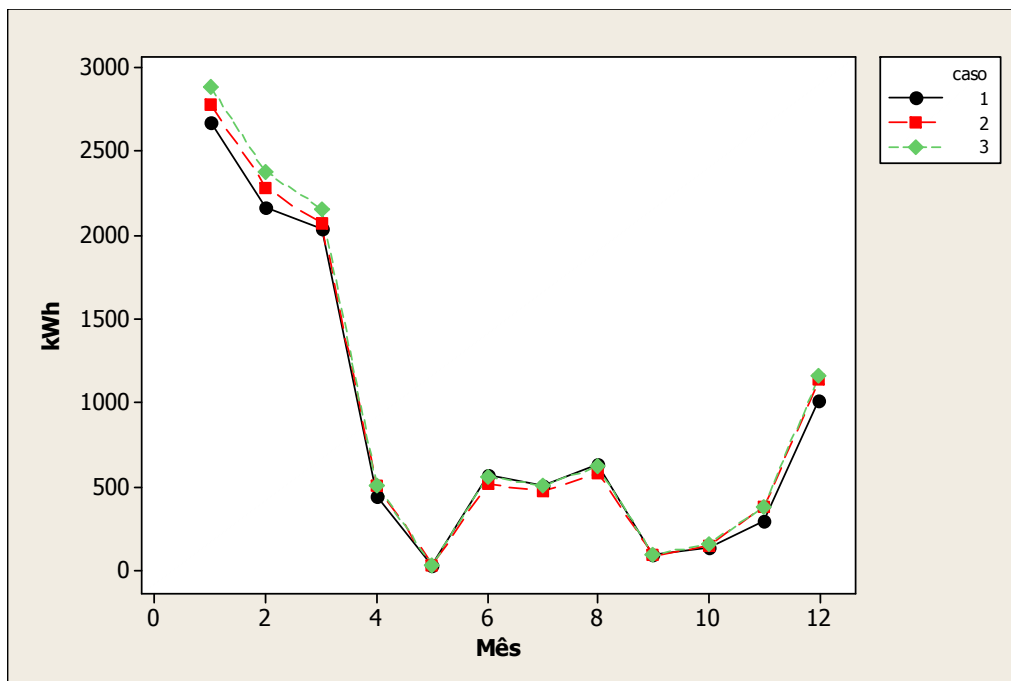


Figura 5.43: Gráfico de linhas dos protótipos em função do consumo em kWh, por mês.

5.2.4.3. Resultados da simulação A

Nesta subseção, são apresentados os resultados da primeira simulação do modelo computacional original, comparado com as medições higrotérmicas realizadas. Nota-se que as diferenças principais entre as temperaturas médias do ar estão na sala de intercâmbio no térreo e na de coleções UFV, que são os ambientes mais desajustados, em que os dados medidos são muito diferentes dos simulados (Figura 5.44). Há uma discrepância entre os dados do terceiro pavimento de todos os ambientes monitorados de temperatura do ar, temperatura média radiante e umidade relativa do ar com a última medição realizada, que também, apresentam valores medidos mais altos que os simulados (Apêndice A).

Quanto à umidade relativa, percebe-se que em boa parte dos ambientes monitorados os pontos se aproximam de uma reta e dos valores obtidos com a simulação. Em outros, porém, verifica-se que há uma diferença entre os valores

medidos e simulados e que esses pontos estão mais dispersos, afastando-se da configuração de uma reta (Apêndice B).

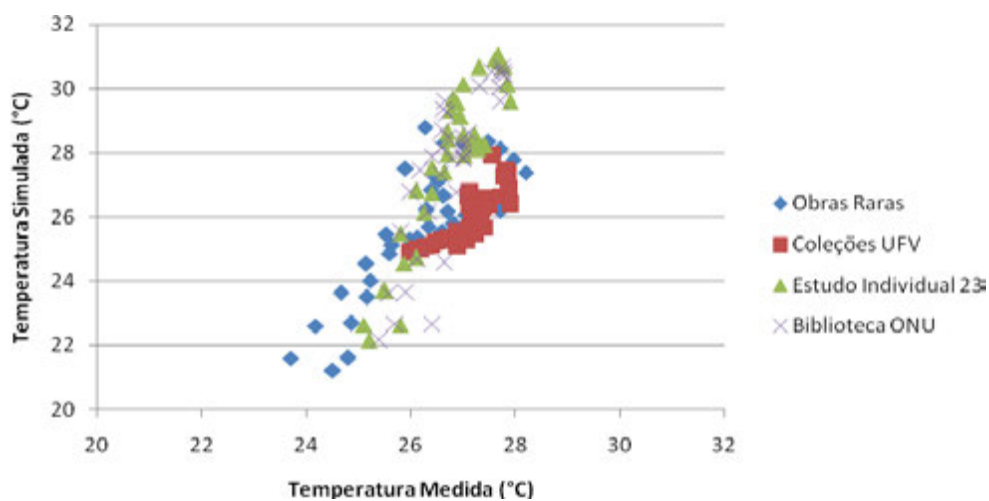


Figura 5.44: Temperatura média do ar medida e simulada do primeiro pavimento, no verão, para a simulação A.

Com relação à temperatura média radiante, verifica-se que o pior pavimento é o primeiro, por apresentar valor muito maior de temperatura média radiante simulada (Figura 5.45 e Apêndice C).

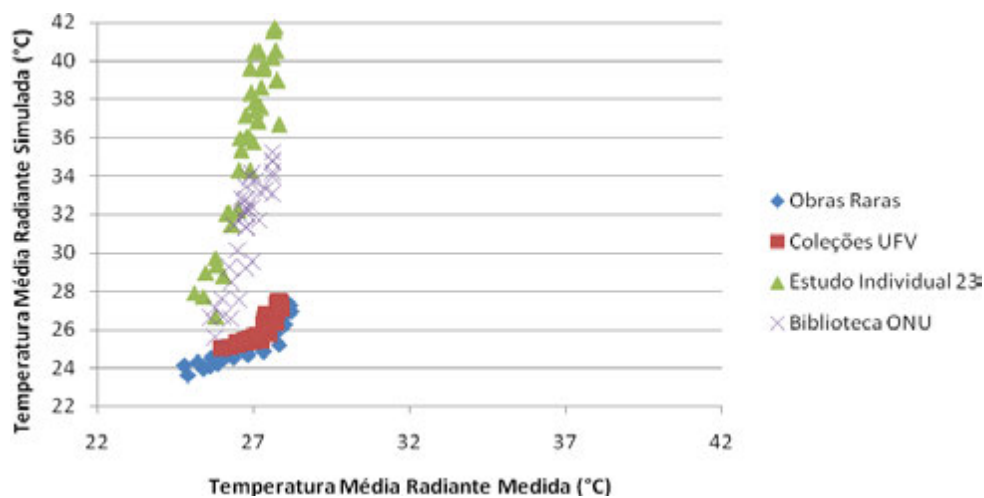


Figura 5.45: Temperatura média radiante medida e simulada no primeiro pavimento, no verão, para a simulação A.

Além disso, na maior parte dos ambientes, os valores simulados das variáveis monitoradas, como temperatura do ar, umidade relativa e temperatura média radiante são muito diferentes daqueles das medições, tendo a última variável o pior comportamento. Ainda assim, nota-se que os ambientes que possuem pior desempenho são: sala de intercâmbio no térreo; sala de coleções da UFV, sala de estudo individual e sala da biblioteca da ONU no primeiro pavimento; sala de TV e vídeo no segundo

pavimento; sala de depósito de livros e sala de Diário Oficial no terceiro pavimento.

5.2.4.4. Resultados da simulação B

Os resultados da versão B foram comparados com os dados monitorados das medições descritos no capítulo 4 obtendo-se os gráficos para os quatro pavimentos. Como nessa simulação foi alterada a quantidade de pessoas nos três ambientes do pavimento térreo (salas de restauração, referência e reserva), no verão, percebe-se que houve aproximação dos pontos, se aproximando de uma reta, embora não seja uma melhora muito significativa (Figura 5.46). Nos outros pavimentos, não foram observadas mudanças. No período de inverno, todos os pavimentos possuem pior comportamento do que o de verão. Ainda há muita discrepância entre os dados medidos e simulados (Apêndice D).

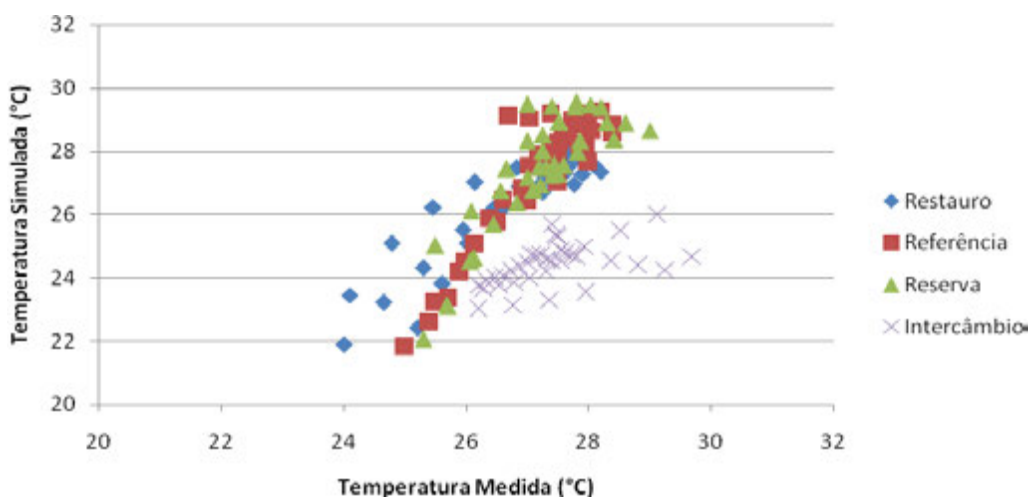


Figura 5.46: Temperatura do ar medida e simulada no pavimento térreo, no verão, para a simulação B.

Para a umidade relativa no período de verão verifica-se o mesmo ocorrido com as temperaturas do ar, que não houve mudanças muito perceptíveis nos pontos. No período de inverno, os pontos ainda estão distantes, se afastando da configuração de uma reta, necessitando de outras alterações no modelo para aproximar os pontos de uma reta (Apêndice E).

Com relação à temperatura média radiante, durante o período de verão, verifica-se que o primeiro pavimento é o que possui pior comportamento, tendo pontos mais distantes, sendo os valores simulados da sala de estudo individual (1Z23) e da sala da biblioteca da ONU maiores que os medidos. No térreo, as temperaturas medidas foram maiores que as simuladas. Para o período de inverno, percebe-se que os pontos são

mais distantes, e que as temperaturas simuladas também são maiores que as medidas, e, portanto, o desempenho é pior do que o período de verão (Figura 5.47 e Apêndice F). A tabela com os dados por ambiente encontra-se no Apêndice G.

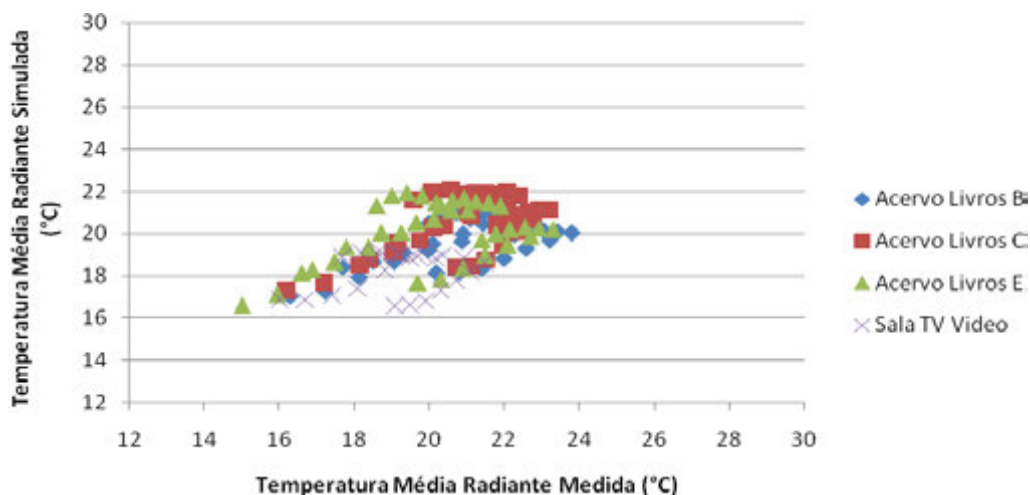


Figura 5.47: Temperatura média radiante medida e simulada no segundo pavimento, no inverno, para a simulação B.

Para a versão B, de um modo geral, houve melhora e aproximação dos pontos em relação à uma reta e redução da diferença entre os dados para as salas de restauração, referência e reserva. Para esses ambientes, a alteração quanto ao número de pessoas foi mantida para as próximas versões.

5.2.4.5. Resultados da simulação C

Os resultados apresentados para esta versão C também foram comparados com os dados das medições. Para o verão, verificou-se que os pontos dos dados medidos e simulados de temperatura do ar melhoraram em relação à versão B, embora em alguns ambientes ainda encontram-se pontos que não são compatíveis com os dados monitorados, como a sala de intercâmbio no térreo. Para o período do inverno, os valores das temperaturas do ar simuladas ainda encontram-se muito diferentes dos medidos, embora tenha havido uma aproximação entre o valor das temperaturas (Apêndice H).

No verão, as diferenças entre as taxas de umidade relativa do ar foram um pouco reduzidas e a diferença entre os valores também diminuiu, mas dados de ambientes como a sala de intercâmbio no térreo, a sala de coleções da UFV no primeiro pavimento e os dados simulados do terceiro pavimento relacionados com a última medição ainda encontram-se muito discrepantes. Para o inverno, em alguns ambientes como nos do

segundo pavimento, as taxas de umidade relativa se aproximam do valor medido, se aproximando de uma reta (Figura 5.48). Para os outros ambientes dos demais pavimentos, os dados simulados ainda são muito diferentes dos medidos (Apêndice I).

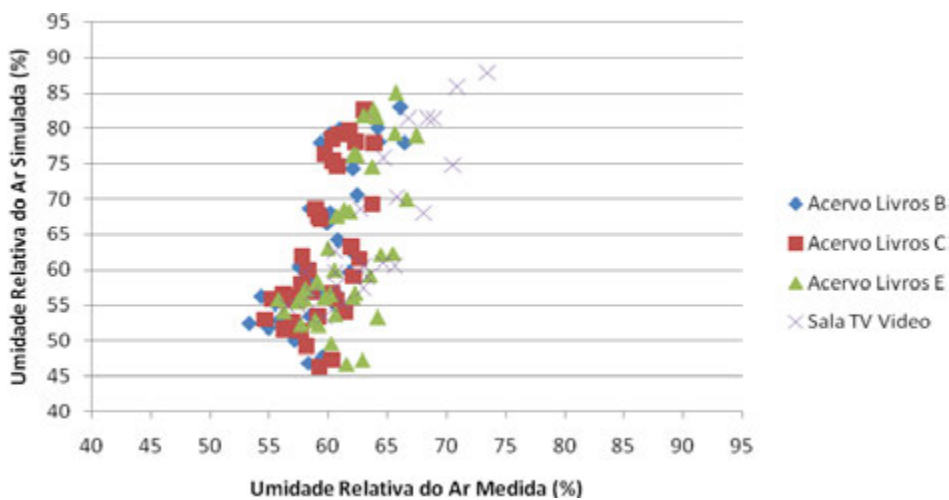


Figura 5.48: Umidade relativa do ar medida e simulada no segundo pavimento, no inverno para a simulação C.

Com relação à temperatura média radiante em todos os pavimentos, verificou-se que houve aproximação entre os dados medidos e os simulados no período de verão. O pior ambiente é a sala de estudos individuais (1Z23), em que as temperaturas simuladas são muito maiores que as medidas (Figura 5.49). Para o inverno as temperaturas médias radiantes continuam com a mesma discrepância de amplitude em relação à simulação B (Apêndice J).

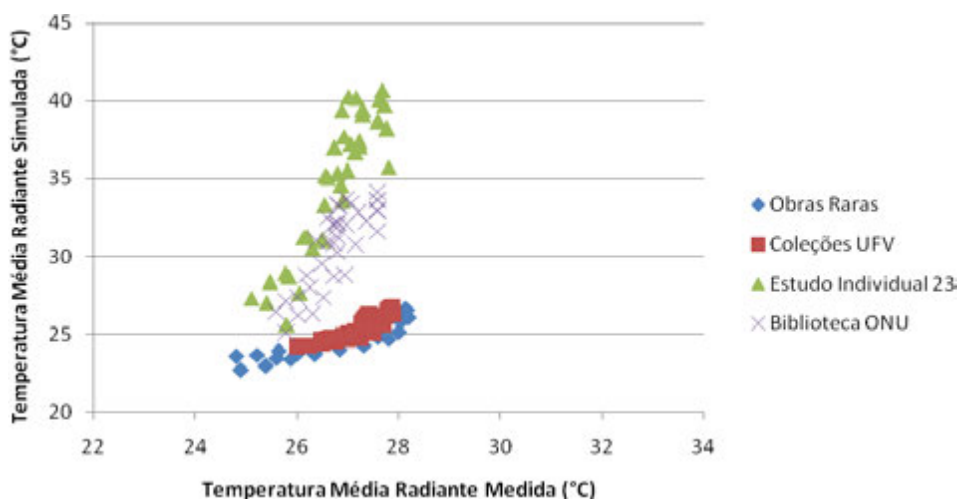


Figura 5.49: Temperatura média radiante medida e simulada no primeiro pavimento, no verão para a simulação C.

Em relação à versão B, percebe-se uma melhora, já que houve redução da diferença entre os dados para a maior parte dos ambientes monitorados, e, com isso, a

alteração desta versão foi mantida para as próximas simulações. A tabela com os dados por ambiente encontra-se no Apêndice L.

5.2.4.6. Resultados da simulação D

Como descrito na seção 4.3, na versão D alteraram-se as *schedules* de pessoas para a sala de reserva, a área de referência, as salas de estudos de segundo grau, as salas de estudos individuais e de estudo em grupo, a área de acervo de livros e a área de acervo de periódicos. Com relação às temperaturas do ar durante o período de verão, constatou-se que a maior alteração ocorreu para os valores do primeiro pavimento, havendo uma aproximação entre os valores medidos e os simulados (Figura 5.50). Com referência às temperaturas do período de inverno, verifica-se que a maior modificação ocorrida foi no pavimento térreo, em que houve maior aproximação entre os valores medidos e simulados (Figura 5.51 e Apêndice M).

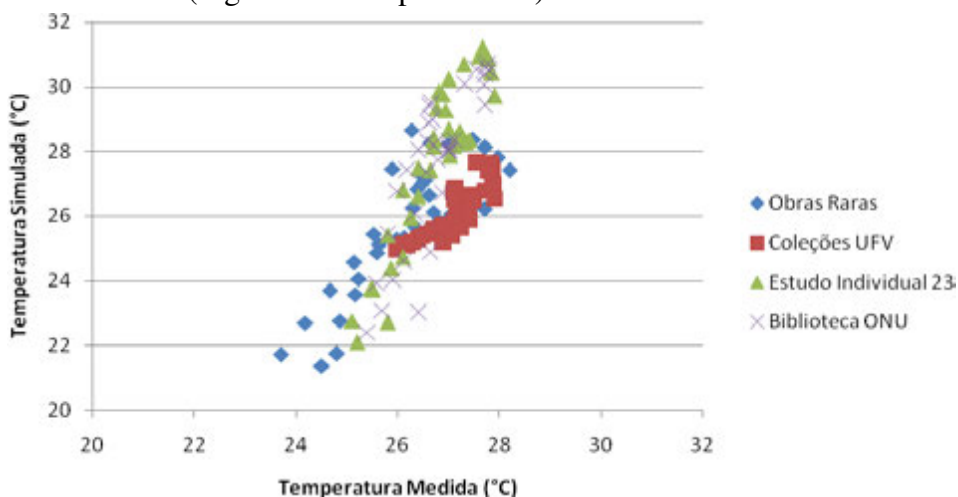


Figura 5.50: Temperatura média do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no verão para a simulação D.

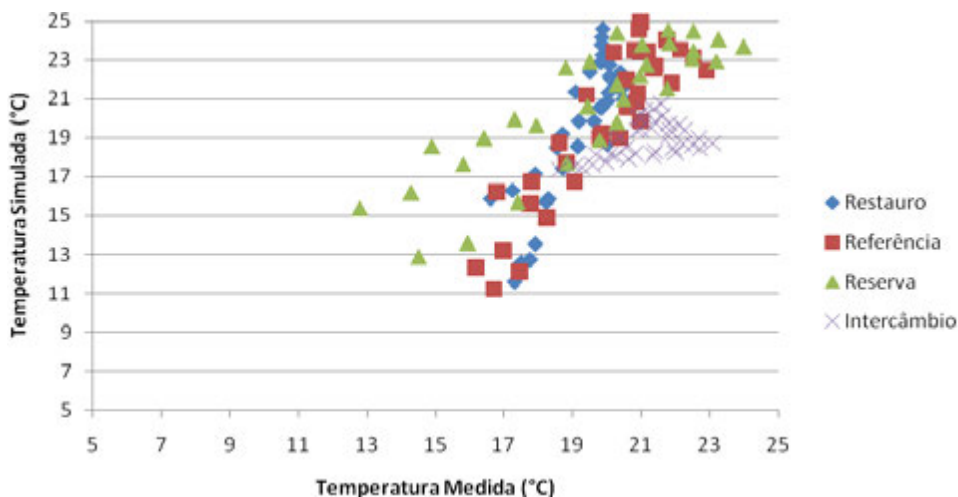


Figura 5.51: Temperatura média do ar medida e simulada no pavimento térreo, no inverno para a simulação D.

Para as taxas de umidade relativa do ar, no verão, o pavimento térreo foi o que sofreu maior alteração. Houve aumento dos valores simulados para a sala de restauro e a área de referência. A sala de intercâmbio ainda permaneceu com as taxas de umidades relativas do ar simuladas maiores que as medidas. Os dados medidos e simulados das taxas de umidades relativas do ar no período do inverno foram bem discrepantes; em nenhum dos ambientes constatou-se equivalência entre os valores medidos e simulados (Figura 5.52). O pavimento que obteve maior modificação foi o térreo: houve redução dos valores das taxas de umidade relativa simulada, o que aproximou dos dados medidos, mas ainda assim, não são coincidentes com os valores dos dados medidos (Apêndice N).

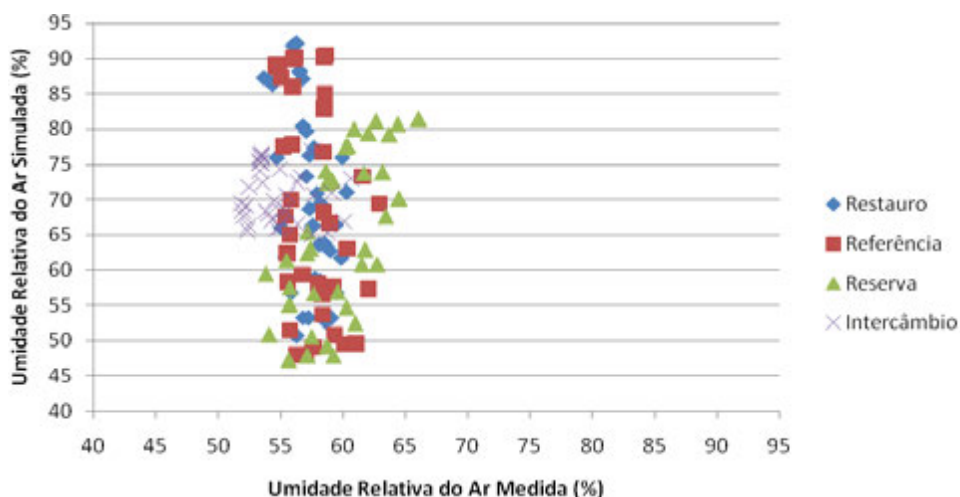


Figura 5.52: Umidade relativa do ar medida e simulada no pavimento térreo, no inverno para a simulação D.

Quanto às temperaturas médias radiantes, no verão, constatou-se que o primeiro pavimento foi o que houve maior modificação, sendo a sala destinada à biblioteca da ONU a que obteve maior alteração, aumentando, também, a distância entre os pontos, piorando o desempenho do ambiente (Figura 5.53). Para o inverno, verificou-se que houve pouca alteração em relação à simulação C (Apêndice O). A tabela com os dados por ambiente encontra-se no Apêndice P.

Em comparação com a versão anterior, verificou-se que os resultados da versão D estão bem mais ajustados. O comportamento dos pontos medidos e simulados das variáveis melhorou para a maior parte dos ambientes, e a diferença entre eles diminuiu e, com isso, a alteração desta versão foi mantida para as próximas simulações.

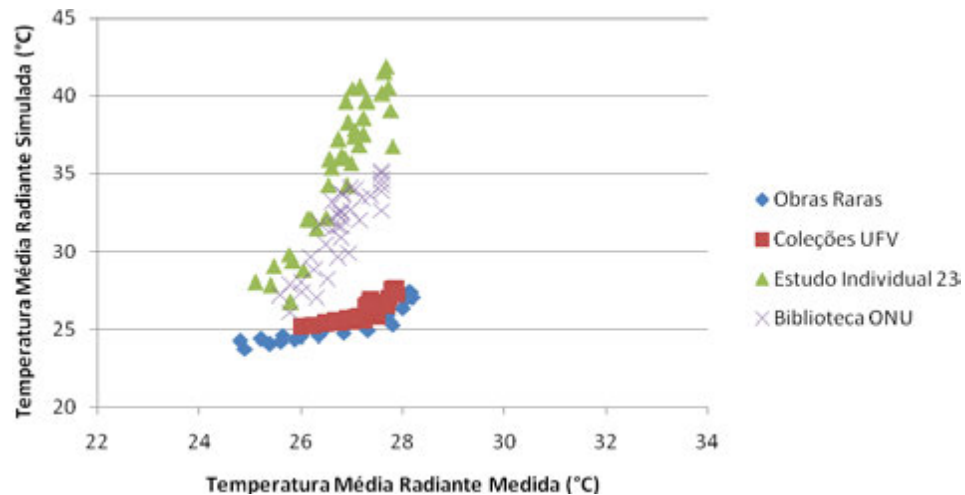


Figura 5.53: Temperatura média radiante medida e simulada no primeiro pavimento, no verão para a simulação D.

5.2.4.7. Resultados da simulação E

Nesta subseção, são apresentados os resultados da versão E, realizada considerando-se o modelo da versão D com alteração nas propriedades dos materiais. Para as temperaturas médias do ar, no verão e no inverno, verificou-se que houve pouca alteração no comportamento dos pontos entre os dados medidos e simulados de todos os pavimentos (Apêndice Q).

Quanto às taxas de umidade relativa do ar, durante o verão e o inverno, verificou-se que não houve alteração significativa, como pode ser constatado pela comparação entre os dados da versão D (Apêndice R).

Constatou-se que, de forma geral, a temperatura média radiante, no verão, melhorou nos ambientes, sendo a sala destinada a biblioteca da ONU a que teve maior modificação. Percebe-se, também, que a sala de estudo individual (23) ainda possui temperaturas muito diferentes daquelas das medidas (Figura 5.54). No período de inverno, verificou-se que houve melhora das temperaturas médias radiantes simuladas, em comparação com as medidas, sendo a sala de intercâmbio, no térreo, a que teve maior aproximação com as temperaturas medidas (Apêndice S). A tabela com os dados por ambiente encontra-se no Apêndice T.

Verificou-se que em termos gerais, houve uma aproximação entre os valores dos dados medidos com os simulados para alguns ambientes e, portanto, as alterações foram mantidas para a simulação da versão F.

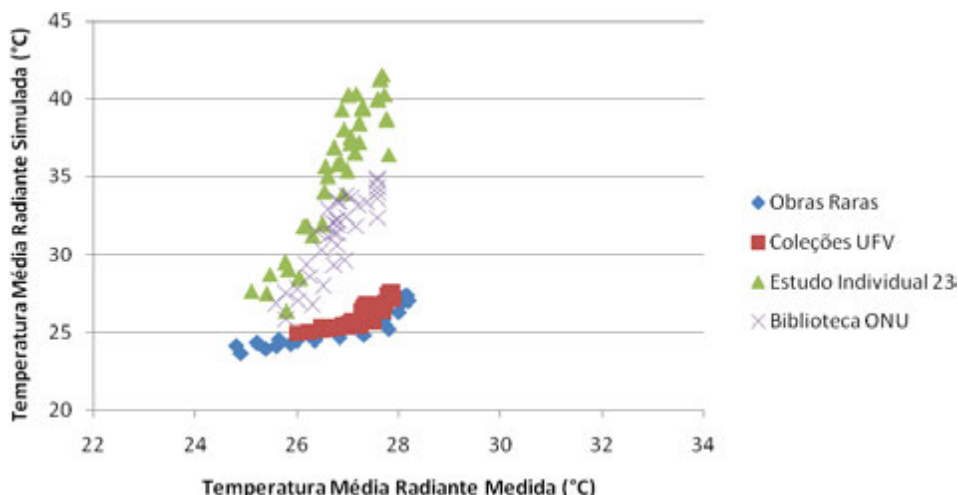


Figura 5.54: Temperatura média radiante medida e simulada no primeiro pavimento, no verão para a simulação E.

5.2.4.8. Resultados da simulação F

Como descrito no capítulo 4, nesta simulação as janelas das salas de estudos individuais voltadas para o térreo ficaram fechadas. Verificou-se, no verão, uma alteração nas temperaturas médias do ar exatamente nessa sala (Figura 5.55). Observou-se um aumento das temperaturas do ar internas em relação às medições higrotérmicas. A umidade relativa e a temperatura média radiante, na mesma época, e as três variáveis durante o inverno não tiveram modificações. A tabela com os dados por ambiente encontra-se no Apêndice U.

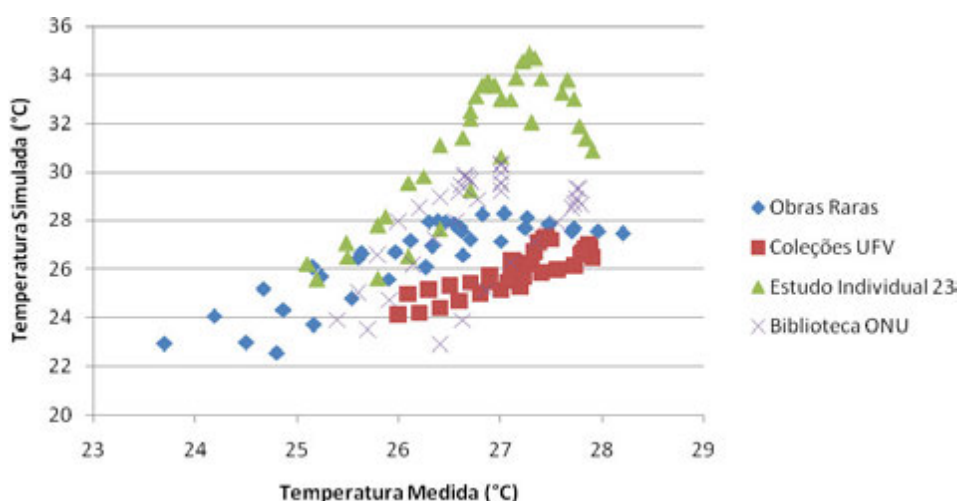


Figura 5.55: Temperatura média do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no verão para a simulação F.

Por esses resultados, verifica-se que a alteração do parâmetro das janelas das salas de estudos individuais internas, que dão para o átrio, configuradas nas outras simulações como janelas abertas, e que, para esta simulação foram trocadas para janelas fechadas, aumentou a diferença entre os valores das variáveis entre as medições e a versão F. Com isso, retornou-se o parâmetro para a configuração com janelas abertas e descartou-se esta versão.

5.2.5. Considerações finais sobre os resultados das versões de validação

De acordo com os dados apresentados de todas as versões simuladas, considerou-se a versão E como a validação final do modelo computacional da edificação estudada. Verificou-se que esta versão apresentou algumas diferenças entre os valores monitorados, ora maior ora menor, se comparados com os dados das tabelas da versão D. Essas diferenças são as incertezas da simulação, ocasionadas pela impossibilidade de fechar e isolar a biblioteca durante os períodos de medições higrotérmicas.

Outro fator que não permitiu que a quantidade de usuários por dia fosse calculada foi o sistema de barreira magnética instalado, que não diferencia a entrada e a saída. O sistema sempre registra as pessoas passando, não importa o sentido. Como muitos estudantes utilizam as entradas da biblioteca para circularem entre as entradas da biblioteca, situadas em distintas fachadas, ao invés de passarem pelas vias externas, o número de pessoas registradas é muito maior do que as que realmente utilizam a edificação para estudos, pesquisas e leituras. Consequentemente, houve alteração na carga térmica interna gerada pela quantidade de pessoas que utilizam o edifício diariamente, sobretudo nas épocas de provas, que coincidiram com as duas últimas etapas de medições. Outra incerteza foi a de não se encontrar na Instituição o memorial técnico da edificação com a descrição dos materiais e detalhes construtivos utilizados na obra, utilizando-se para o modelo, materiais identificados por meio de *walkthrough*.

5.3. Análise de conforto higrotérmico para humanos conforme as normas analisadas

Após a validação do modelo computacional, como descrito, realizou-se uma simulação para a obtenção da temperatura operativa para cálculo dos níveis de conforto higrotérmico para humanos, considerando-se as normas ASHRAE *Standard 55* e EN

15.251:2007 (v. 4.5). Para todos os horários de funcionamento do edifício analisado, ou seja, os horários em que a edificação encontra-se ocupada (24 horas diárias, de 6h à 24h; de 8h às 12h e de 14 às 18h), a quantidade de horas em conforto durante o inverno é maior que durante o verão, em ambas as normas; ou seja, o maior desconforto provocado é devido ao calor, conforme pode-se observar nas Figuras 5.56 a 5.103.

Além disso, para o intervalo de verão, as duas normas levam a uma definição do mesmo nível de conforto “E”, embora a quantidade total de horas durante o ano seja maior para a norma europeia. Para o intervalo de inverno, foi constatado que a norma europeia, com exceção do térreo e primeiro pavimentos, mantém os mesmos níveis de conforto que os indicados para o verão. Já a norma americana, para alguns ambientes, indica níveis mais altos na escala de conforto, chegando a nível “C”, como nas Figuras 5.1 a 5.16. Esta diferença de nível de conforto da *ASHRAE Standard 55* acima do nível obtido pela EN 15.251:2007 é causada pela diferença entre os intervalos de temperaturas de conforto das duas normas, como descrito nos capítulos 2 e 4.

Verifica-se, também, que não há conforto higrotérmico para nenhum dos ambientes da edificação, já que o nível mais alto de conforto indicado pelas duas normas foi o “C”, incompatível para a biblioteca, por menos de 70% das horas anuais estarem em conforto. Como descrito no capítulo 2, a permanência no local, numa situação de desconforto, seja por frio ou calor, provoca nos usuários estresse térmico e consequente queda de produtividade no trabalho administrativo, no de reposição de material nos acervos, de limpeza, nos estudos, ou seja, qualquer tipo de usuário da biblioteca está submetido a uma situação de desconforto de pelo menos 30% das horas do ano.

Além disso, quanto às análises dos ambientes da edificação em horas ocupadas, como definido pelo RTQ-C, verifica-se que os níveis de conforto sofrem alteração, principalmente no inverno, de acordo com o horário de ocupação considerado e, em alguns ambientes, há mudança de nível para melhor na escala. No caso considerado, o nível passou de “D” para “C”.

Os ambientes destinados a auditório, sala de projeções e sala de máquinas não foram analisados e estão hachurados na cor cinza. As tabelas com as horas de conforto para cada zona térmica durante o ano, de acordo com as normas e os níveis de conforto calculados, encontram-se no Apêndice V.

HORÁRIO DE OCUPAÇÃO DE 24 HORAS DIÁRIAS - VERÃO

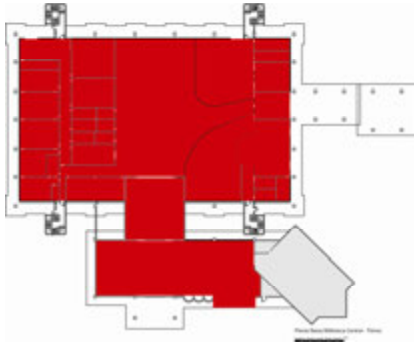


Figura 5.56: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do pav. térreo para a ASHRAE Standard 55.

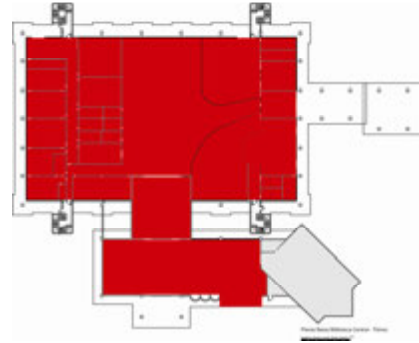


Figura 5.57: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do pav. térreo para a EN 15.251.

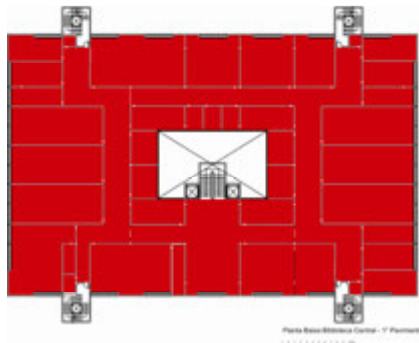


Figura 5.58: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do primeiro pav. para a ASHRAE Standard 55.

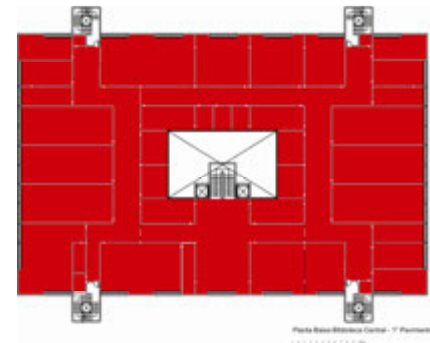


Figura 5.59: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do primeiro pav. para a EN 15.251.

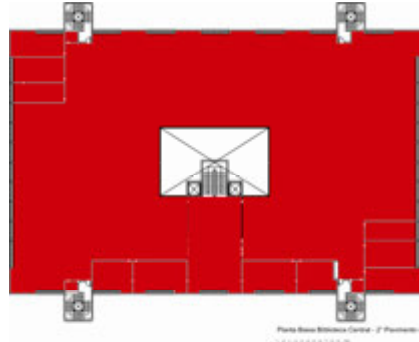


Figura 5.60: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do segundo pav. para a ASHRAE Standard 55.

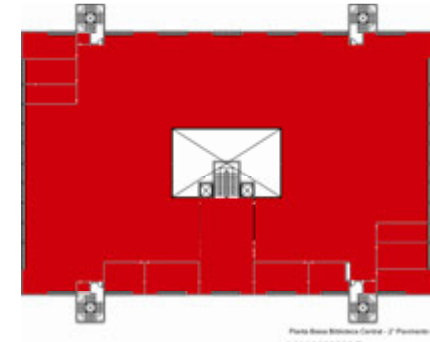


Figura 5.61: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do segundo pav. para a EN 15.251.

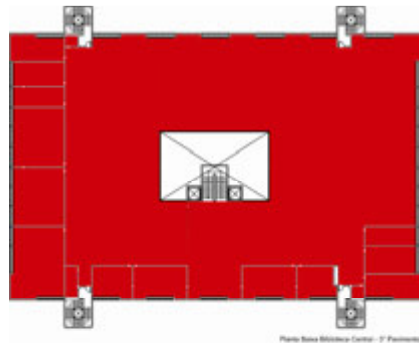


Figura 5.62: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do terceiro pav. para a ASHRAE Standard 55.

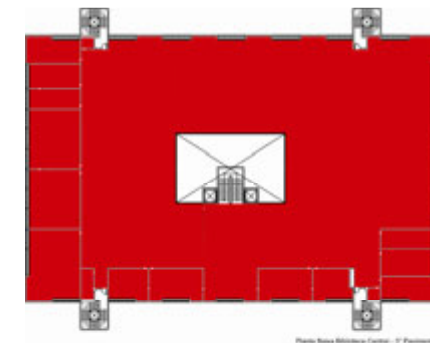


Figura 5.63: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do terceiro pav. para a EN 15.251.

HORÁRIO DE OCUPAÇÃO DE 24 HORAS DIÁRIAS - INVERNO



Figura 5.64: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do pav. térreo para a ASHRAE *Standard* 55.



Figura 5.65: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do pav. térreo para a EN 15.251.

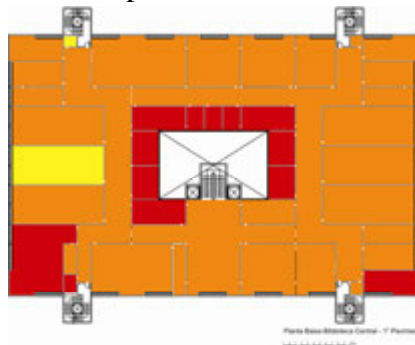


Figura 5.66: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do primeiro pav. para a ASHRAE *Standard* 55.

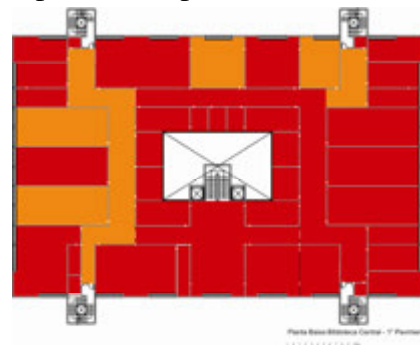


Figura 5.67: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do primeiro pav. para a EN 15.251.

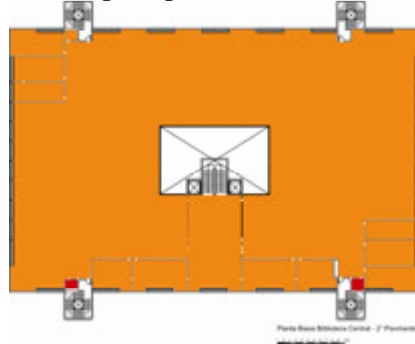


Figura 5.68: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do segundo pav. para a ASHRAE *Standard* 55.

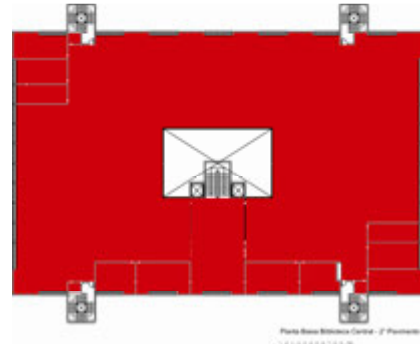


Figura 5.69: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do segundo pav. para a EN 15.251.

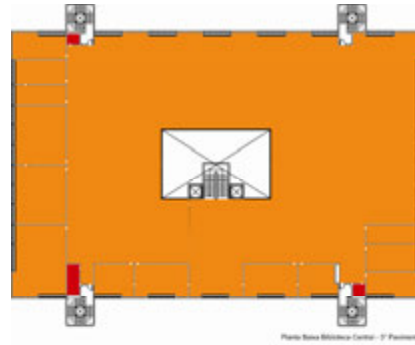


Figura 5.70: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do terceiro pav. para a ASHRAE *Standard* 55.

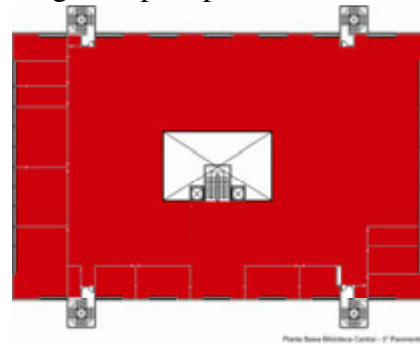


Figura 5.71: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do terceiro pav. para a EN 15.251.

HORÁRIO DE OCUPAÇÃO DE 6h ÀS 24h - VERÃO

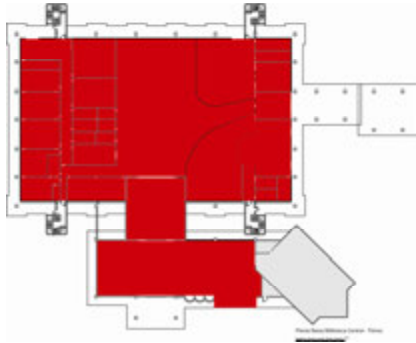


Figura 5.72: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do pav. térreo para a ASHRAE Standard 55.

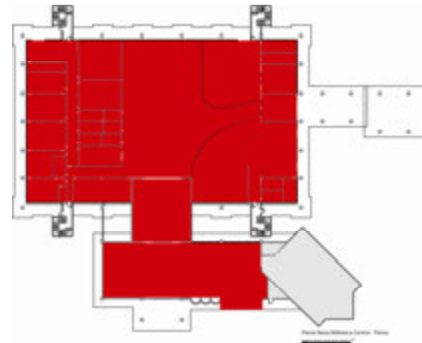


Figura 5.73: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do pav. térreo para a EN 15.251.

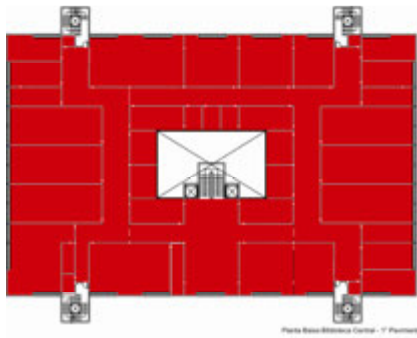


Figura 5.74: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do primeiro pav. para a ASHRAE Standard 55.

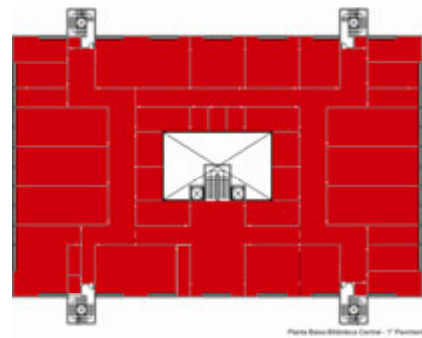


Figura 5.75: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do primeiro pav. para a EN 15.251.

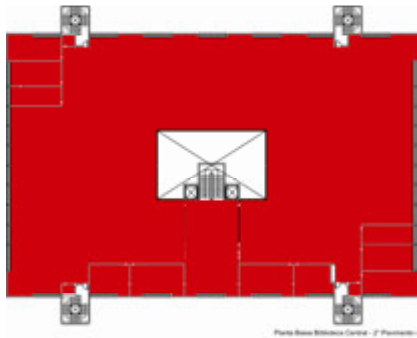


Figura 5.76: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do segundo pav. para a ASHRAE Standard 55.

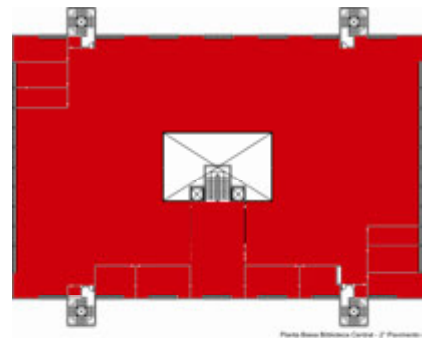


Figura 5.77: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do segundo pav. para a EN 15.251.

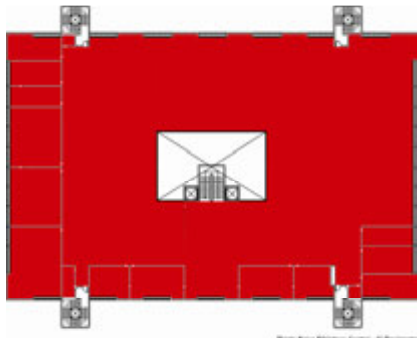


Figura 5.78: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do terceiro pav. para a ASHRAE Standard 55.

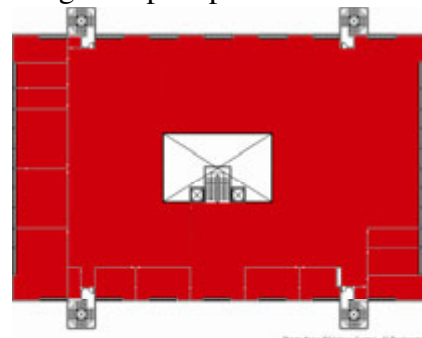


Figura 5.79: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do terceiro pav. para a EN 15.251.

HORÁRIO DE OCUPAÇÃO DE 6h ÀS 24h - INVERNO



Figura 5.80: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do pav. térreo para a ASHRAE *Standard* 55.



Figura 5.81: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do pav. térreo para a EN 15.251.

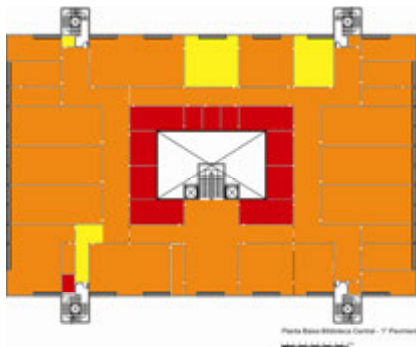


Figura 5.82: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do primeiro pav. para a ASHRAE *Standard* 55.

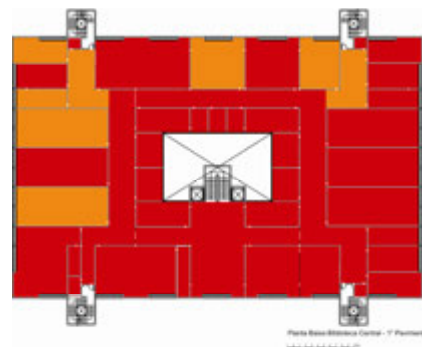


Figura 5.83: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do primeiro pav. para a EN 15.251.

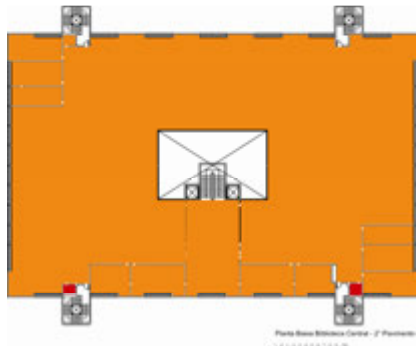


Figura 5.84: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do segundo pav. para a ASHRAE *Standard* 55.

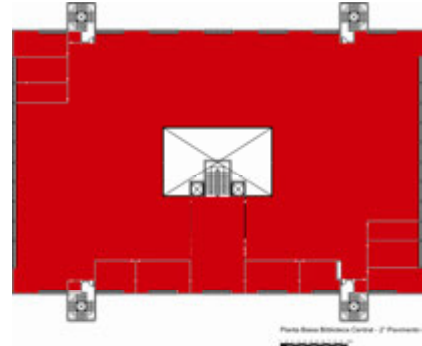


Figura 5.85: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do segundo pav. para a EN 15.251.

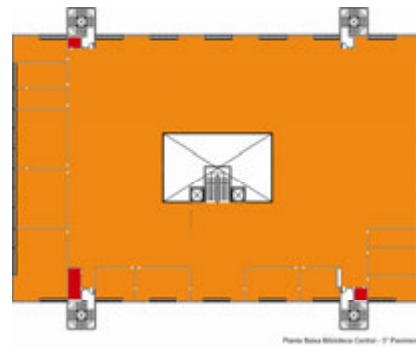


Figura 5.86: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do terceiro pav. para a ASHRAE *Standard* 55.

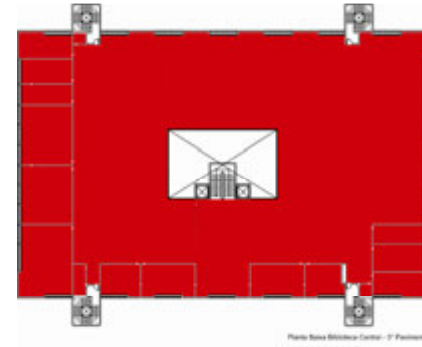


Figura 5.87: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no inverno, do terceiro pav. para a EN 15.251.

HORÁRIO DE OCUPAÇÃO DE 8h ÀS 12h E 14h ÀS 18h - VERÃO

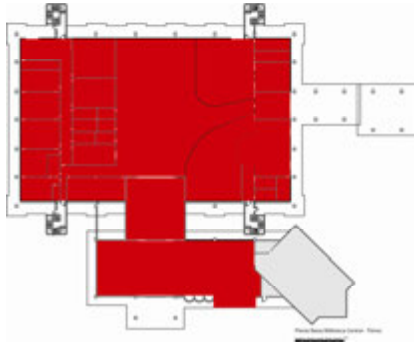


Figura 5.88: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do pav. térreo para a ASHRAE Standard 55.

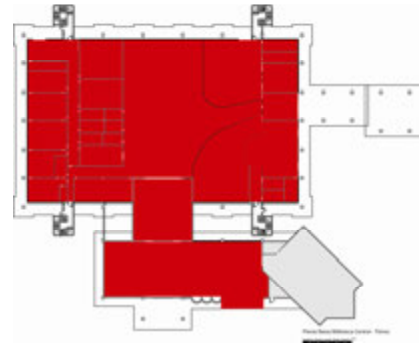


Figura 5.89: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do pav. térreo para a EN 15.251.

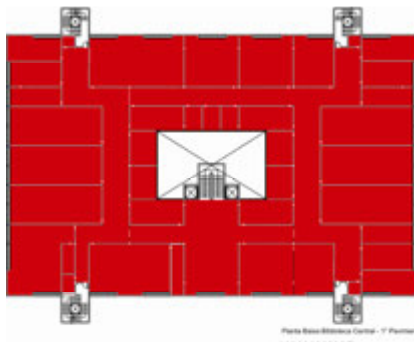


Figura 5.90: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do primeiro pav. para a ASHRAE Standard 55.

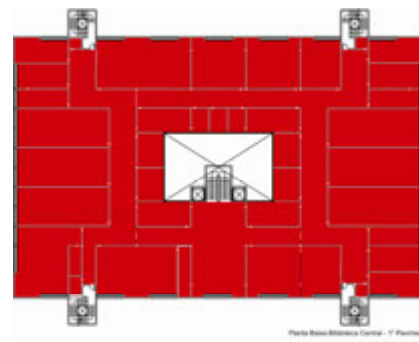


Figura 5.91: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do primeiro pav. para a EN 15.251.

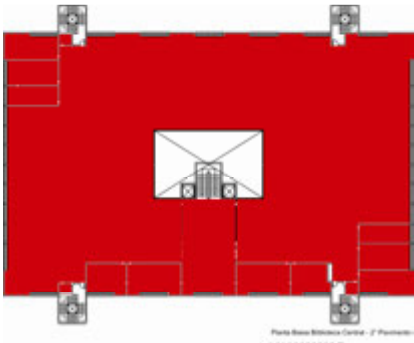


Figura 5.92: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do segundo pav. para a ASHRAE Standard 55.

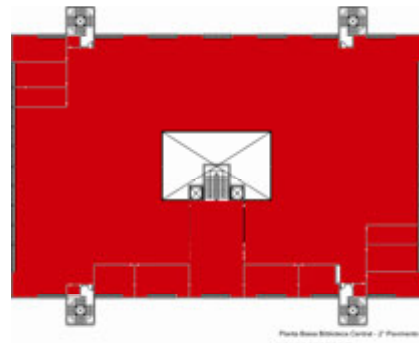


Figura 5.93: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do segundo pav. para a EN 15.251.

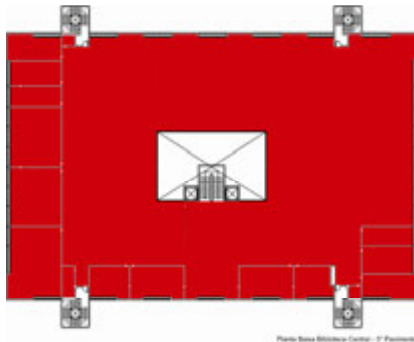


Figura 5.94: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do terceiro pav. para a ASHRAE Standard 55.

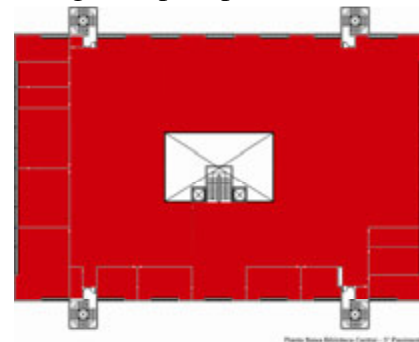


Figura 5.95: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do terceiro pav. para a EN 15.251.

HORÁRIO DE OCUPAÇÃO DE 8h ÀS 12h E 14h ÀS 18h - INVERNO



Figura 5.96: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do pav. térreo para a ASHRAE Standard 55.



Figura 5.97: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do pav. térreo para a EN 15.251.



Figura 5.98: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do primeiro pav. para a ASHRAE Standard 55.

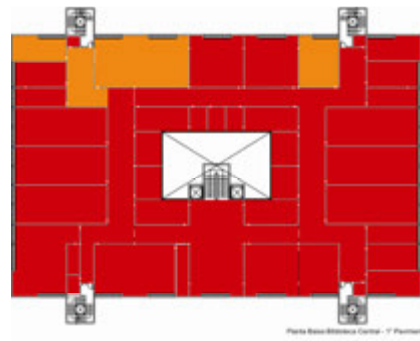


Figura 5.99: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do primeiro pav. para a EN 15.251.

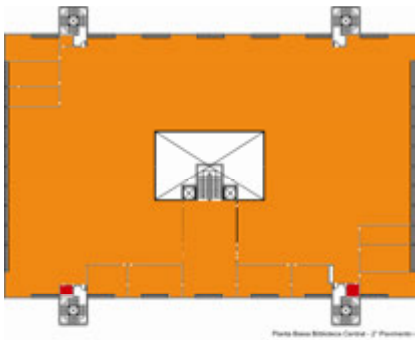


Figura 5.100: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do segundo pav. para a ASHRAE Standard 55.

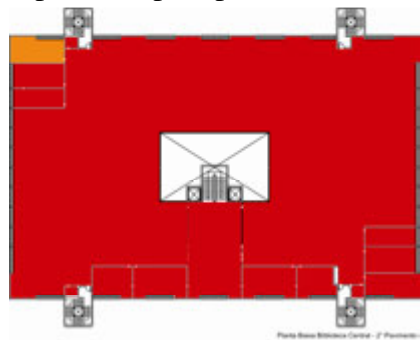


Figura 5.101: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do segundo pav. para a EN 15.251.

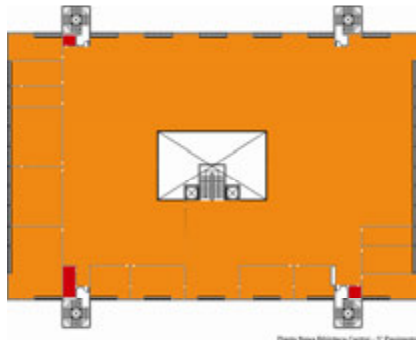


Figura 5.102: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do terceiro pav. para a ASHRAE Standard 55.

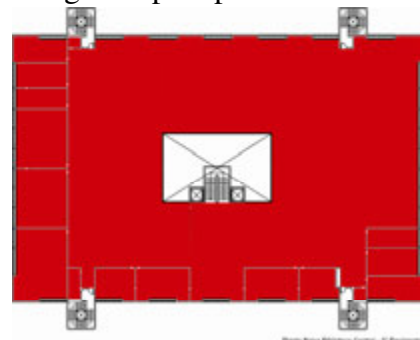


Figura 5.103: Nível de eficiência dos ambientes com vent. natural, no verão, do terceiro pav. para a EN 15.251.

5.4. Análise das condições higrotérmicas do ar para fins de conservação de material bibliográfico

Para análise das condições higrotérmicas do ar para material bibliográfico, foram utilizados os mesmos dados de temperatura operativa fornecidos pelo *EnergyPlus* e pela mesma versão final de validação do modelo (E). Constatou-se que o edifício não apresenta as condições ambientais ideais para a conservação do material bibliográfico armazenado (Figuras 5.104 a 5.107). Da análise anterior, na qual se verificou que a quantidade de horas de conforto durante o período de inverno é maior que a do verão, e que o desconforto é devido ao excesso de calor, também, como descrito no capítulo 2, isso aumenta a velocidade de deterioração do material, e requer mais reposição do acervo. A tabela com as horas de conforto para cada zona térmica durante o ano de acordo com os níveis de conforto encontram-se no Apêndice X.

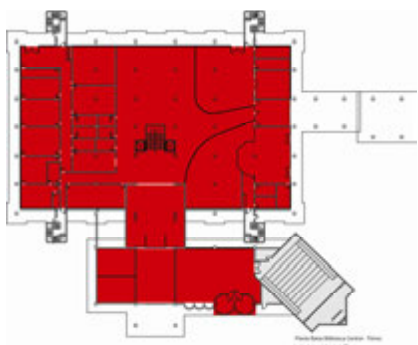


Figura 5.104: Nível de adequação ambiental para o material bibliotecário, do pavimento térreo.

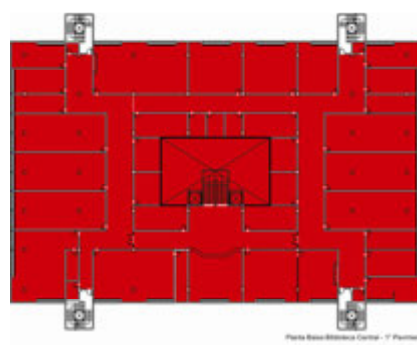


Figura 5.105: Nível de adequação ambiental para o material bibliotecário, do primeiro pavimento.

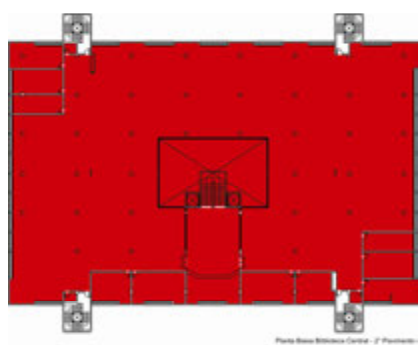


Figura 5.106: Nível de adequação ambiental para o material bibliotecário, do segundo pavimento.

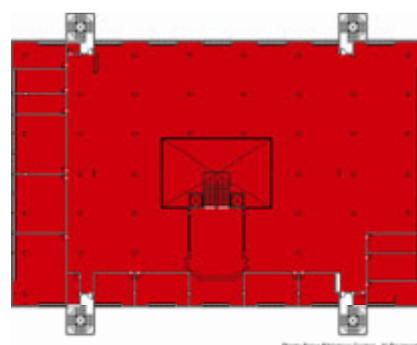


Figura 5.107: Nível de adequação ambiental para o material bibliotecário, do terceiro pavimento.

6. CONCLUSÕES

6.1. Termômetros de globo negro

Pelos resultados obtidos com a calibração dos termômetros de globo negro, concluiu-se que os três podem ser utilizados para monitoramento das temperaturas médias radiantes, pelas correlações obtidas. As equações definidas pela análise de regressão para ajustar as temperaturas aferidas pelos dois termômetros utilizados, digital e de plástico, foram válidas somente para o intervalo de temperatura interna entre 17,3°C e 27,4°C e 17,5°C e 28,4°C, respectivamente. Para temperaturas que não estão entre esses intervalos, o ideal é a realização de novas medições e, conseqüentemente, novos testes estatísticos para ajuste.

6.2. Testes de pré-modelagem

De acordo com os dados e discussões nos capítulos anteriores, considerando-se os testes realizados com diferentes alturas de pé-direito (1.a), para análise geral em que não foi necessária etapa de calibração, o modelo computacional da edificação pôde ser modelado, considerando como base o protótipo 1 para a ventilação natural e o 3 para o condicionamento artificial. Isso foi comprovado pelo teste de generalização (1.b), em que o pé-direito total foi aumentado de 5m para 6,5m. Os resultados foram os mesmos: para análise geral, em que não foi necessário etapa de calibração, podendo o modelo computacional da edificação ser modelado considerando-se como base o protótipo 1 para a ventilação natural e o caso 3 para o condicionamento artificial. Portanto, até esta altura de pé-direito testada e de ambientes subdivididos em duas zonas devido ao forro, pode-se adotar para as modelagens o descrito inicialmente. Para alturas maiores, é necessária a realização de outros testes para verificar se os resultados são compatíveis.

Nos testes realizados com diferentes configurações de planta-baixa (1.c), para ventilação natural, pode-se simplificar a volumetria apenas para uma relação de área de fachada total sobre o volume total da edificação de 0,21. Para os casos com condicionamento artificial não foi possível definir qual é a relação exata, ou a faixa que possibilite esta simplificação, visto que, para os casos com igualdade estatística, há muita variação desta relação, ora muito acima, ora muito próxima à de referência. Sendo assim, para o condicionamento artificial, somente os volumes criados para os testes realizados nesta pesquisa não geraram resultados satisfatórios, implicando, portanto, a

necessidade de se modelar todos os detalhes das edificações para simulação computacional.

Para os testes feitos na sala do edifício real, quando foram utilizados para modelagem os resultados encontrados nos testes anteriores, concluiu-se que se deve utilizar a modelagem adotada para o protótipo 1, para qualquer tipo de condicionamento de ar (natural ou artificial). Para os casos com ventilação natural, não se mostrou apropriado a possibilidade de simplificação dos volumes salientes da fachada, e reentrâncias, ou seja, os recortes definidos em planta-baixa, que geram a volumetria das edificações para a modelagem. Já para o condicionamento artificial, essa simplificação poderá ocorrer para o protótipo 2: modelado com duas zonas térmicas sem os volumes das fachadas, considerando-se para modelagem o limite externo das paredes dessas saliências. Todavia, ressalta-se que, já que os resultados foram diferentes para os dois tipos de condicionamento (natural e artificial) para as modelagens, serão necessárias etapas de calibração para validação do modelo computacional; os resultados serão mais precisos e confiáveis para o protótipo 1: modelado com duas zonas térmicas e todos os volumes das fachadas como estão na edificação.

Além disso, para todos os testes realizados, por meio da análise das tabelas dos ganhos térmicos (kW/m^2) e o consumo energético (kWh), nota-se que as diferenças são muito pequenas, ao considerar e modelar somente uma sala de dimensões de $8\text{m} \times 11\text{m}$ e pé-direito de 5m de altura, esse resultado poderia ser questionado, já que trata-se de um pequeno ambiente, e poderia ter sua modelagem simplificada, independentemente dos resultados de igualdade mostrados nos testes estatísticos.

Mas, ao considerar um edifício com dimensões e complexidades iguais às dessa biblioteca, que possui área equivalente a 95 salas das mesmas dimensões das simuladas, de $8\text{m} \times 11\text{m}$ e, aproximadamente 130 zonas térmicas, essa diferença mensal torna-se significativa para cálculo dos ganhos térmicos totais e o consumo energético, o que implica na inserção dos resultados obtidos nos testes de pré-modelagem na concepção de modelos computacionais, ou seja, quando os testes indicaram a possibilidade de simplificação, esta poderia ser feita, quando indicou o contrário, não haveria possibilidade de simplificação.

6.3. Validação do modelo experimental

Percebeu-se que, durante a fase de calibração do modelo computacional da

biblioteca, em alguns ambientes não foi atingida uma equivalência das variáveis monitoradas com as fornecidas pelo *EnergyPlus*. A partir disso, concluiu-se que o fator responsável por essas diferenças foi a impossibilidade de fechamento e isolamento da edificação para os usuários durante as fases de medição, principalmente as duas últimas que coincidiram com as épocas de provas bimestrais. Outro fator que não permitiu que a quantidade de usuários por dia fosse calculada foi o sistema de barreira magnética instalado, que não diferencia a entrada e a saída. O sistema sempre registra as pessoas passando, não importa o sentido. Como muitos estudantes utilizam as entradas da biblioteca para encurtarem sua caminhada, ao invés de passarem pelas vias externas, o número de pessoas registradas é muito maior do que as que realmente utilizam a edificação para estudos, pesquisas e leituras.

6.4. Normas ASHRAE *Standard* 55 (2004) e EN 15251 (2007)

Pela análise das plantas dos pavimentos da biblioteca, de acordo com os intervalos de conforto de cada norma, como descrito no capítulo 5, constatou-se que a ASHRAE *Standard* 55 (2004) e a EN 15.251:2007 geraram resultados aproximados. A diferença entre as normas basicamente está no intervalo de temperaturas indicadas para aquecimento e resfriamento, e diferem de apenas 1°C para mais ou menos, já que consideram o mesmo método como parâmetro de análise e critério de conforto, o PMV-PPD. Uma comprovação disso são os ambientes pintados em laranja e amarelo para o inverno, de acordo com a ASHRAE *Standard* 55, em que mesmo considerados, respectivamente, como nível de conforto higrotérmico “D” e “C”, o valor das horas de conforto para muitos ambientes, para as 8760 horas do ano encontram-se muito próximos do limite entre um nível e outro, o que, também, indica que os ambientes estão muito mais desconfortáveis do que próximos de atingir um nível que seja mais confortável.

Dessa forma, concluiu-se que, embora as normas sejam voltadas para edificações com condicionamento artificial, elas podem ser utilizadas para edificações ventiladas naturalmente, pois o método principal para a definição dos níveis de conforto higrotérmico é pelo cálculo do PMV-PPD, que serve para todos os usuários, independentemente do sistema de condicionamento utilizado (artificial ou natural). Pode-se, assim e de acordo com as tabelas dos totais de horas de conforto dos ambientes do capítulo 5, concluir que: a) a ASHRAE *Standard* 55 é mais indicada para análise de

conforto para a implantação de sistemas de condicionamento artificial em edificações, já que a diferença de horas entre as duas normas foi de aproximadamente 1.000 horas, o que diminuiria o dimensionamento dos sistemas da edificação em torno de 30 dias, ou seja, 1 mês durante o ano; b) a EN 15.251:2007 é mais indicada para projetos de novas edificações, que, pelo intervalo menor de temperaturas para aquecimento e resfriamento, é mais rigorosa, exigindo que os profissionais desenvolvam projetos com maior qualidade.

6.5. Conforto higrotérmico na Biblioteca Central da UFV

Para a Biblioteca Central da UFV, verificou-se que há mais horas de conforto durante o período de inverno, mas, considerando as horas totais para 1 ano (8760 horas) nenhum ambiente da edificação oferece conforto aos usuários durante pelo menos 70% dessas horas, e estaria no segundo grau da escala de conforto higrotérmico.

Para os materiais bibliográficos, principalmente os livros, verificou-se que a maior parte dos ambientes oferece menos de 1000 horas de conforto durante o ano, o que corresponde, aproximadamente, a 33 dias de conforto, no total. Essa situação implica numa condição ambiental mais propícia à degradação dos materiais do acervo do que se estivessem armazenados em temperaturas e umidades ideais. Conseqüentemente, isso remete a uma mais provável necessidade de renovação periódica do acervo, cuja degradação não é causada em sua maior parte pelo uso, e sim pelas condições ambientais impróprias para armazenamento.

Além disso, a edificação deveria ter sido projetada de forma a garantir eficiência de desempenho térmico, ou seja, de modo que o ambiente interno do edifício sob condições de ventilação natural funcionasse dentro no intervalo de condições higrotérmicas do ar que proporcionasse a preservação do acervo bibliográfico, principalmente o caso da base bibliográfica em papel, já que o acervo é permanente no edifício. As salas destinadas à armazenagem das obras raras, coleções da UFV, coleções em Braille e outras obras especiais deveriam localizar-se onde tivesse menores insolação e temperaturas.

Como apresentado nas plantas-baixas no capítulo 5, não há recinto higrotermicamente ideal na edificação analisada para melhor conservação dos materiais bibliográficos. Pode-se afirmar que a fachada oeste, que atualmente é a orientação dos ambientes que armazenam este tipo de obra, não é a mais indicada. Como a edificação é

ventilada naturalmente, as janelas deveriam receber telas de proteção para evitar que animais como pássaros, pombos e morcegos possam contribuir para deteriorar o acervo, principalmente o das salas pouco utilizadas, como as de obras raras, Diário Oficial de Minas Gerais, Diário Oficial da União e coleções em Braille.

6.6.Limitações do trabalho

As principais limitações para o desenvolvimento desta pesquisa estiveram relacionadas com o tipo de equipamento utilizado para monitoramento das variáveis ambientais. São equipamentos que necessitam de um operador e, devido à extensão da edificação, tornou-se necessário um intervalo de medições a cada 6 horas, o que seria mais preciso se houvesse equipamentos automáticos em número suficiente para que fossem instalados nos ambientes e configurados para registrar as variáveis intervaladas de hora em hora ou a cada 15 minutos.

6.7.Recomendações para trabalhos futuros

Considerando pesquisas desenvolvidas para análises de conforto higrotérmico de edificações com ventilação natural, sugerem-se:

- a) realizar mais estudos de conforto higrotérmico em edificações públicas, comerciais e de serviços, também em outras zonas bioclimáticas, como forma de verificar a pertinência do método de análise e definição dos níveis de conforto higrotérmico desenvolvido por esta pesquisa;
- b) analisar o mesmo método proposto para edificações residenciais uni e multifamiliares;
- c) estudar os parâmetros de ventilação natural em átrios centrais de edificações;
- d) estudar coeficientes de pressão para edificações que tenham formas irregulares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2004**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2004. 26 p.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

AL-HOMOUD, M. Computer-aided building energy analysis techniques. In: **Building and Environment**. Oxford: Elsevier, v. 36, p. 421-433, 2001.

BRASIL. Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Lex**: Diário Oficial da União, Brasília, 2001a. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf>. Acesso em: 23/05/2010.

BRASIL. Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. **Lex**: Diário Oficial da União, Brasília, 2001b. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/decreto4059.pdf>. Acesso em: 23/05/2010.

BRASIL. **Regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviço e públicos**. Portaria 163 de 08 de junho de 2009. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/arquivos/2_RTQ_C.pdf. Acesso em: 15/09/2009.

BRASIL. Instrução Normativa nº 1, de 19 de janeiro de 2010. Dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências. **Lex**: Diário Oficial da União, Brasília, 2010. Disponível em: http://www.int.gov.br/Novo/pregao/pdfs/INT_RJ_Instrucao_Normativa_012010.pdf. Acesso em: 22/05/2010.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v.10, n.2, p.7-26, 2010a.

_____. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v.10, n.2, p.27-40, 2010b.

COSTA, A.; KEANE, M.; RAFTERY, P.; O'DONNELL, J. Key factors – methodology for enhancement and support of building energy performance. Eleventh International IBPSA Conference, **Proceedings...** Glasgow: IBPSA. p. 775-782, 2009.

CRAWLEY, D. B.; LAWRIE, L. K.; PEDERSEN, C. O.; WINKELMANN, F. C. EnergyPlus: energy simulation program. **ASHRAE Journal**. Atlanta: Lawrence Berkeley National Laboratory, v. 42., p. 49-56, 2000.

CRAWLEY, D. B.; LAWRIE, L. K.; WINKELMANN, F. C.; BUHL, W. F.; HUANG, Y. J.; PEDERSEN, C. O.; STRAND, R. K.; LIESEN, R. J.; FISHER, D. E.; WITTE, M. J.; GLAZER, J. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, v. 33, p. 319-331, 2001.

DAVIS III, J. A.; NUTTER, D. W. Occupancy diversity factors for common university building types. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, v. 42, p. 1543-1551, 2010.

DOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Building Energy Software Tools Directory**. Disponível em: http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm . Acesso em: 26 maio 2009.

ENERGYPLUS. Input Output Reference - The encyclopedic reference to *EnergyPlus* Input and Output. University of Illinois and Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2010.

FLUORENTZOU, F.; VAN DER MAAS, J.; ROULET, C. A. Natural ventilation for passive cooling: measurement of discharge coefficients. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, v. 27, p. 283-292, 1998.

GUIMARÃES, I. B. B. Caracterização bioclimática da cidade de Viçosa-MG. In: ENCAC 2011. **Anais...** Búzios, 2011.

HASHIMOTO, Y.; YONEDA, H. Numerical study on the influence of a ceiling height for displacement ventilation. Eleventh International IBPSA Conference, **Proceedings...** Glasgow: IBPSA. p. 1045-1052, 2009.

KHAN, N.; SU, Y.; RIFFAT, S. B. A review on wind driven ventilation techniques. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, v. 40, p. 1586-1604, 2008.

KOHRI, K. A study on an estimation method of the effective opening area of entrance doors and winter airflow rate into atrium buildings. Eighth International IBPSA Conference, **Proceedings...** Eindhoven: IBPSA. p. 665-672, 2003.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

MAHDAVI, A.; OREHOUNIG, K.; PRÖGLHÖF, C. A simulation-supported control scheme for natural ventilation in buildings. Eleventh International IBPSA Conference, **Proceedings...** Glasgow: IBPSA. p. 783-788, 2009.

MAZZARELLA, L.; PASINI, M. Building energy simulation and object-oriented modelling: review and reflections upon achieved results and further developments. Eleventh International IBPSA Conference, **Proceedings...** Glasgow: IBPSA. p. 638-645, 2009.

MEHTA, M. Natural ventilation analyses of an office building with open atrium. Ninth International IBPSA Conference, **Proceedings...** Montréal: IBPSA. p. 741-746, 2005.

NEN – NEDERLANDSE NORM. **NEN-EN 15251:2007**. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussels, 2007.

NEYMARK, J., JUDKOFF, R.; KNABE, G.; LE, H. T.; DÜRIG, M.; GLASS, A.; ZWEIFEL, G. Applying the building energy simulation test (BESTEST) diagnostic method to verification of space conditioning equipment models used in whole-building energy simulation programs. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, v. 34, p. 917-931, 2002.

OGDEN, S. **Meio ambiente**. Tradução Elizabeth Larkin Nascimento, Francisco de Castro Azevedo. 2ed. Rio de Janeiro: Projeto Conservação Preventiva em Bibliotecas e Arquivos: Arquivo Nacional, 2001.

PAN, Y.; LI, Y.; HUANG, Z. Study on energy modeling methods of atrium buildings. Eleventh International IBPSA Conference, **Proceedings...** Glasgow: IBPSA. p. 250-257, 2009.

PAN, Y.; LI, Y.; HUANG, Z., WU, G. Study on simulation methods of atrium building

cooling load in hot and humid regions. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, v. 42, p. 1654-1660, 2010.

PEREIRA, C. D. **A influência do envelope no desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ocupadas e ventiladas naturalmente**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

PEDRINI, A.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. A methodology for building energy modelling and calibration in warm climates. In: **Building and Environment**. Oxford: Elsevier, v. 37, p. 903-912, 2002.

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

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Estatística no controle da qualidade**. V3. Disciplina de Estatística no Controle da Qualidade. Departamento de Informática. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2009.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

STAVRAKAKIS, G. M.; KOUKOU, M. K.; VRACHOPOULOS, M. Gr.; MARKATOS, N. C. Natural cross-ventilation in buildings: building-scale experiments, numerical simulation and thermal comfort evaluation. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, v. 40, p. 1666-1681, 2008.

TNO Building Research. **Cp Generator**. Disponível em: <http://cpgen.bouw.tno.nl/cp>. Acesso em: 10 jan. 2011.

TRINKLEY, M. **Considerações sobre preservação na construção e reforma de bibliotecas: planejamento para preservação**. Tradução: Luiz Antonio Macedo Ewbank. 2ed. Rio de Janeiro: Projeto Conservação Preventiva em Bibliotecas e Arquivos: Arquivo Nacional, 2001.

TOKYO POLYTECHNIC UNIVERSITY. **Wind pressure database**. Disponível em: <http://wind.arch.tkougei.ac.jp/system/eng/contents/code/tpu>. Acesso em: 15 jan. 2011.

VAN MOESEKE, G.; GRATIA, E.; REITER, S.; HERDE, A. Wind pressure distribution influence on natural ventilation for different incidences and environment

densities. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, v. 37, p. 878-889, 2005.

VAN SCHIJNDEL, A. W. M.; SCHELLEN, W.J.; TIMMERMANS, W.J. Simulation of the climate system performance of a museum in case of failure events. In: **Energy and Buildings**. Oxford: Elsevier, v. 42, p. 1790-1796, 2010.

VERSAGE, R. S. **Ventilação natural e desempenho térmico de edifícios verticais multifamiliares em Campo Grande, MS**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

WANG, L.; WONG, N. H. Coupled simulations for naturally ventilated rooms between building simulation (BS) and computational fluid dynamics (CFD) for better prediction of indoor thermal environment. In: **Building and Environment**. Oxford: Elsevier, v. 44, p. 95-112, 2009.

WESTPHAL, F. S. **Análise de incertezas e de sensibilidade aplicadas à simulação de desempenho energético de edificações comerciais**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

ZHU, Q.; YAN, D. Dynamic simulation of atrium thermal environment aiding building design. Tenth International IBPSA Conference, **Proceedings...** Beijing: IBPSA. p. 294-301, 2007.

APÊNDICE A – Gráficos da temperatura do ar da simulação A

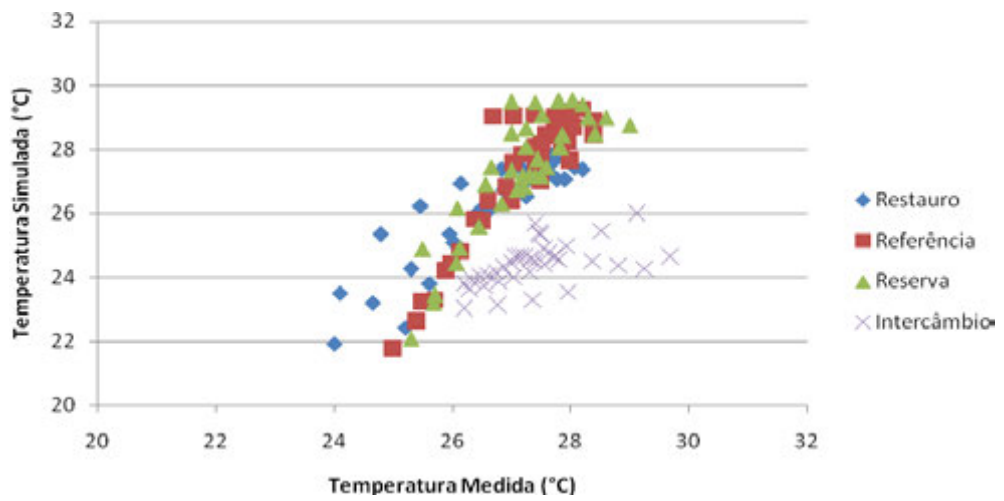


Figura A.1: Temperatura média do ar medida e simulada no pavimento térreo, no verão para simulação A.

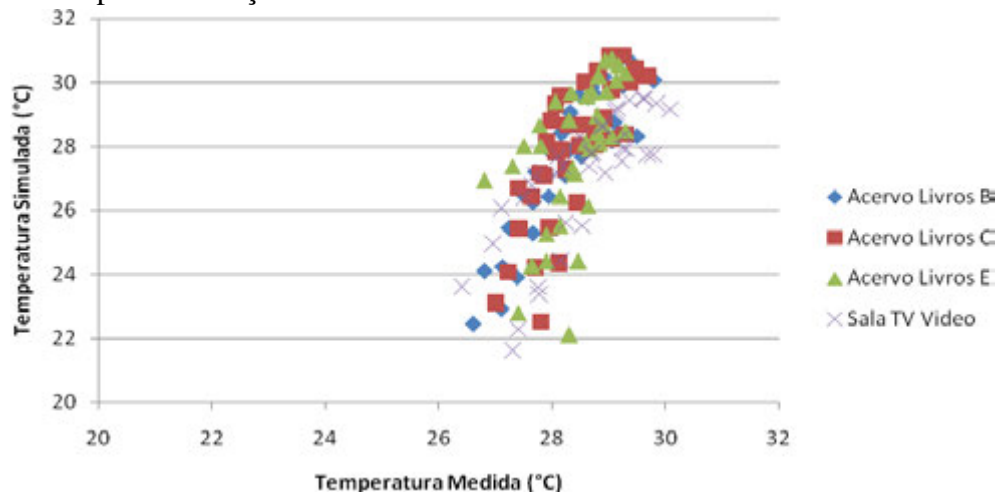


Figura A.2: Temperatura média do ar medida e simulada no segundo pavimento, no verão para simulação A.

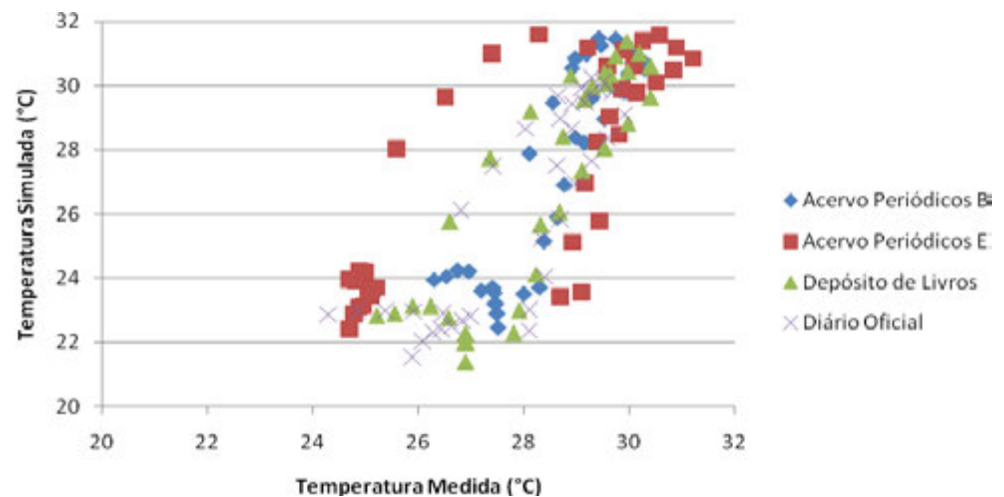


Figura A.3: Temperatura média do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para simulação A.

APÊNDICE B – Gráficos da umidade relativa do ar da simulação A

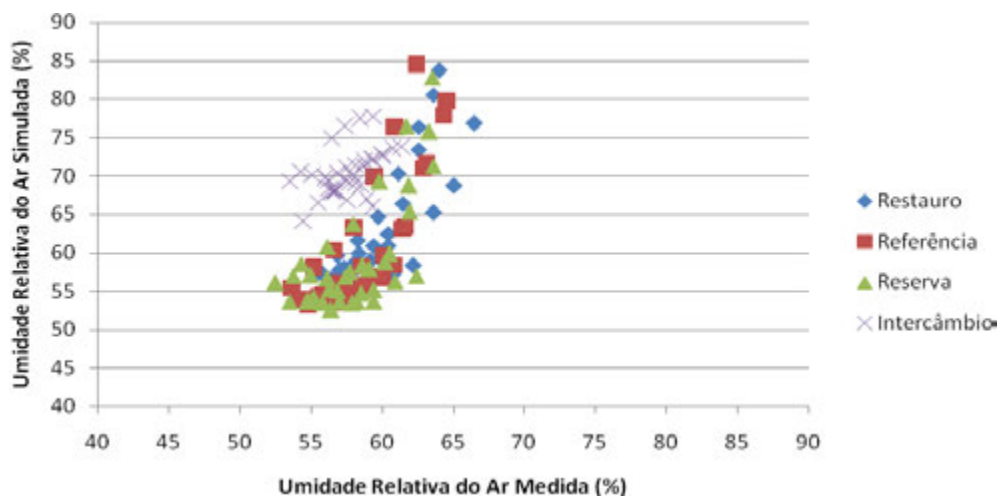


Figura B.1: Umidade relativa do ar medida e simulada no pavimento térreo, no verão para a simulação A.

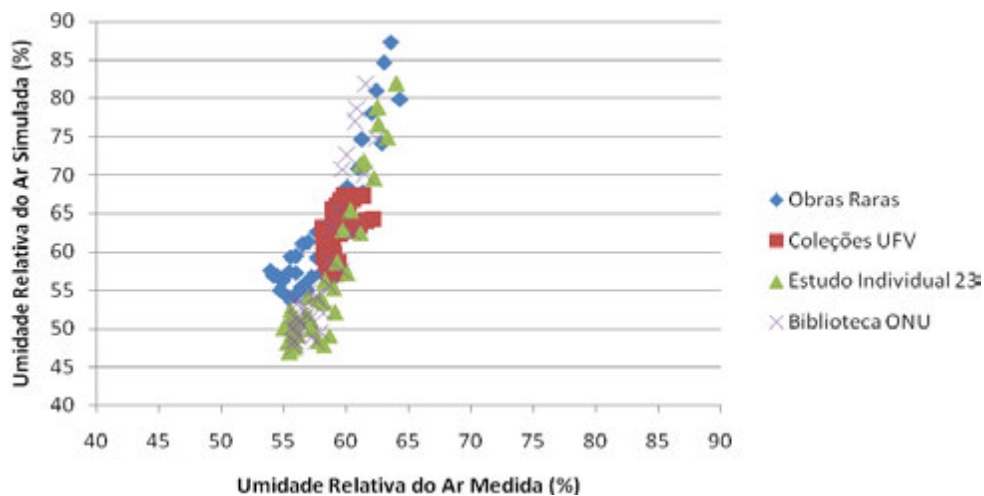


Figura B.2: Umidade relativa do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no verão para a simulação A.

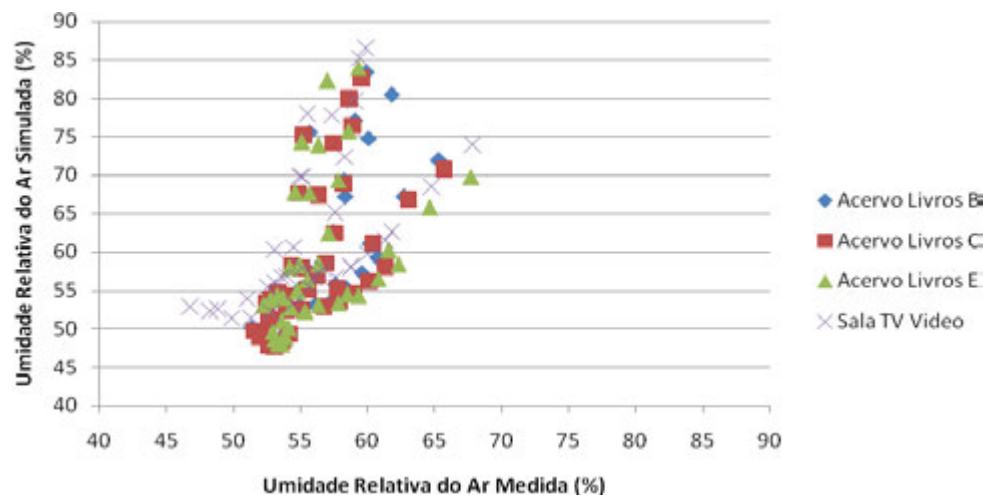


Figura B.3: Umidade relativa do ar medida e simulada no segundo pavimento, no verão para a simulação A.

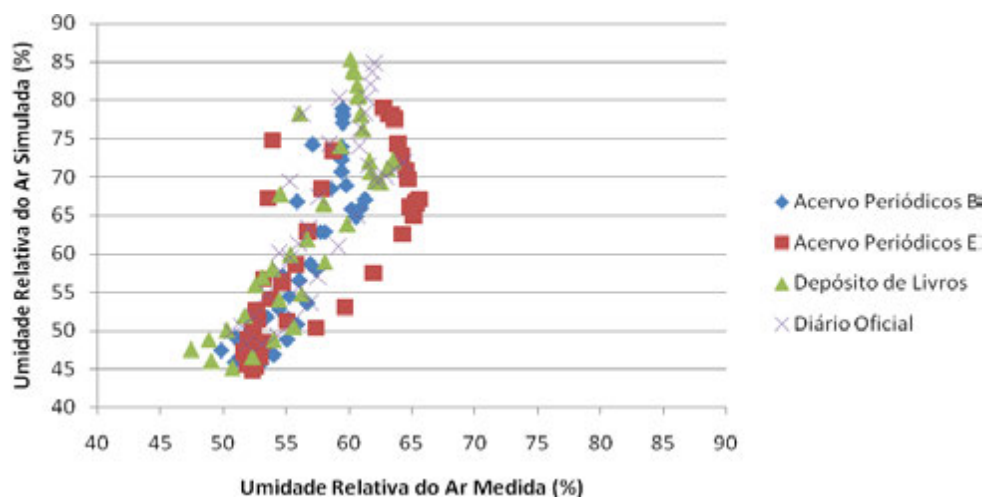


Figura B.4: Umidade relativa do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para a simulação A.

APÊNDICE C – Gráficos da temperatura média radiante da simulação A

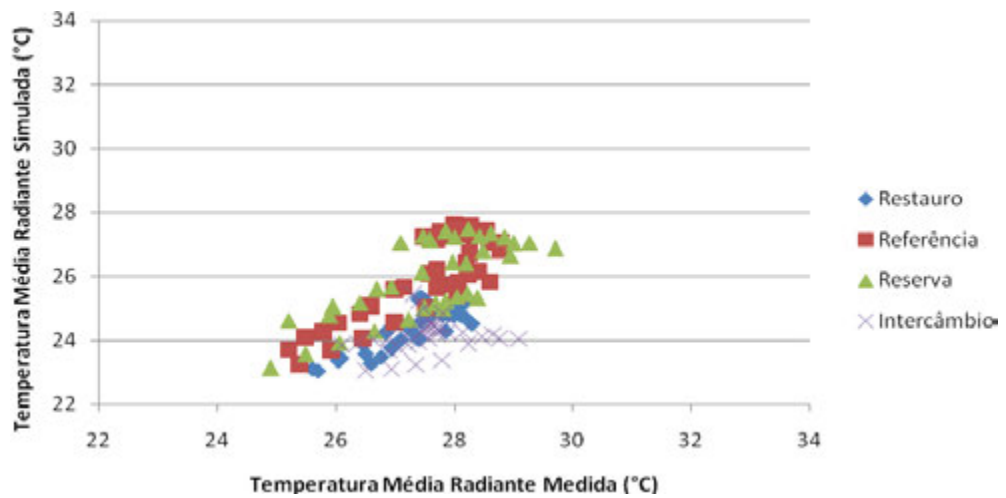


Figura C.1: Temperatura média radiante medida e simulada no pavimento térreo, no verão para a simulação A.

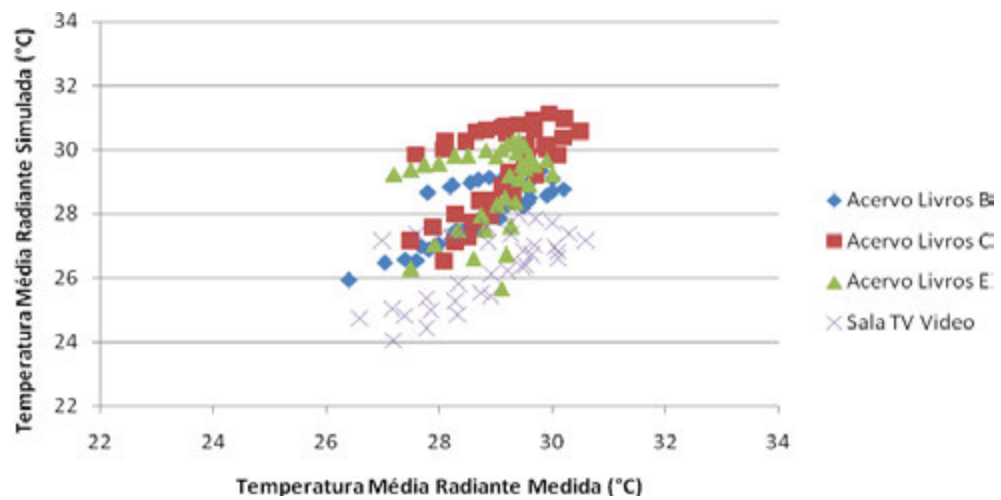


Figura C.2: Temperatura média radiante medida e simulada no segundo pavimento, no verão para a simulação A.

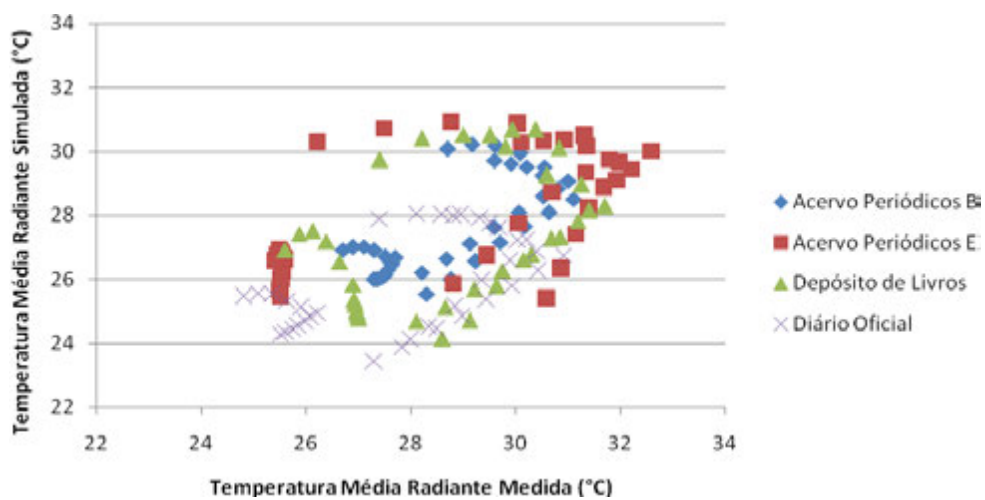


Figura C.3: Temperatura média radiante medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para a simulação A.

APÊNDICE D – Gráficos da temperatura do ar da simulação B

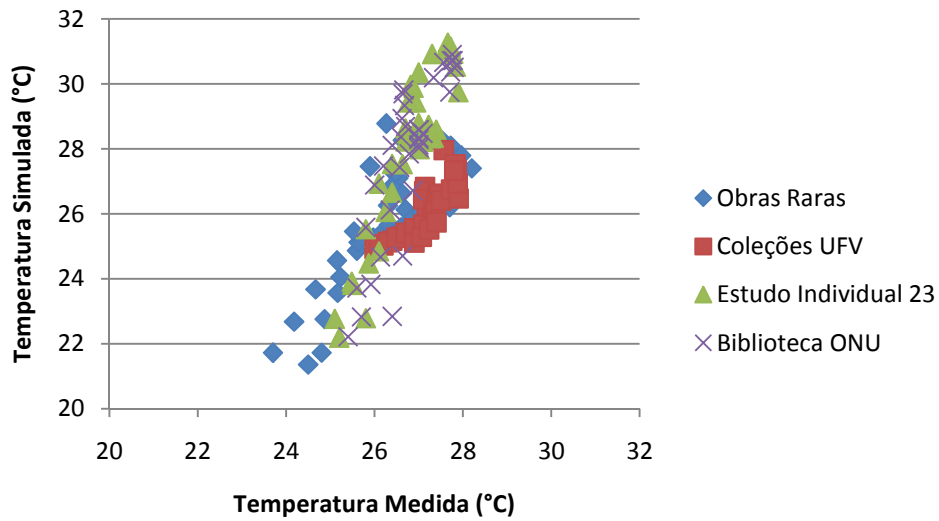


Figura D.1: Temperatura do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no verão para a simulação B.

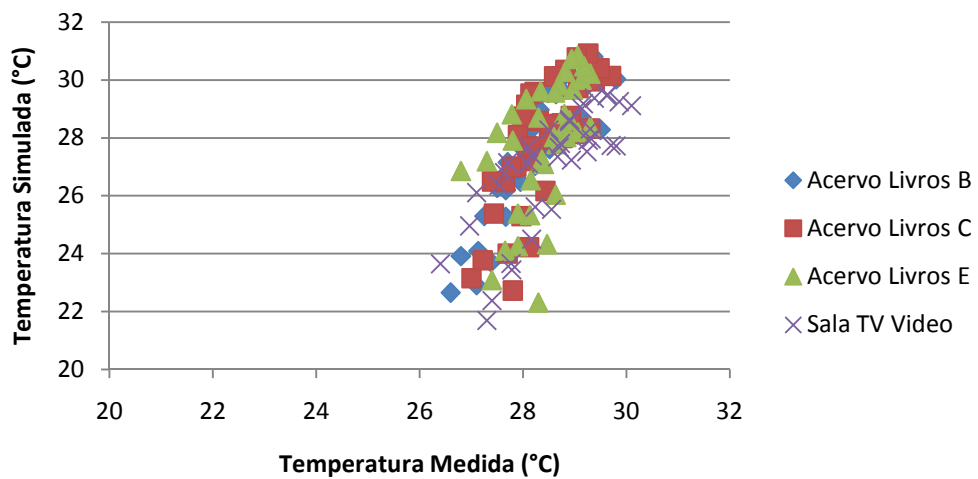


Figura D.2: Temperatura do ar medida e simulada no segundo pavimento, no verão para a simulação B.

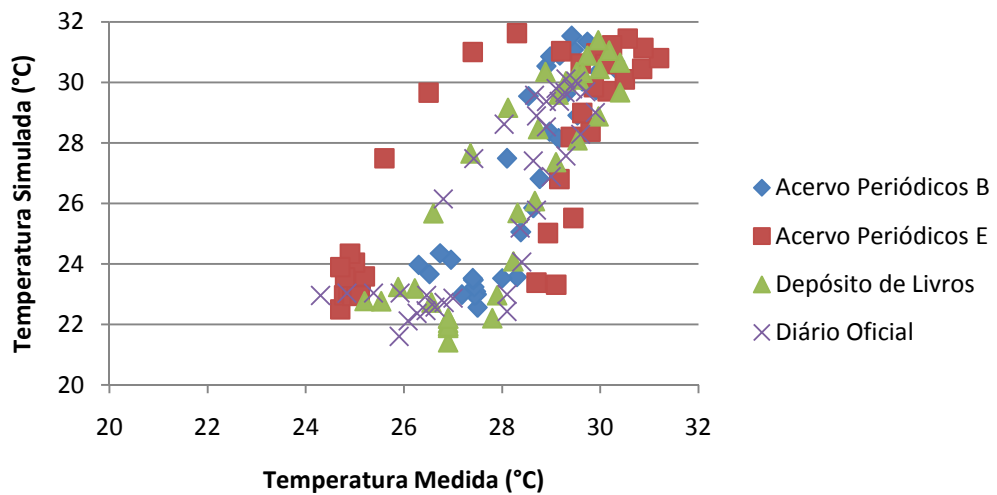


Figura D.3: Temperatura do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para a simulação B.

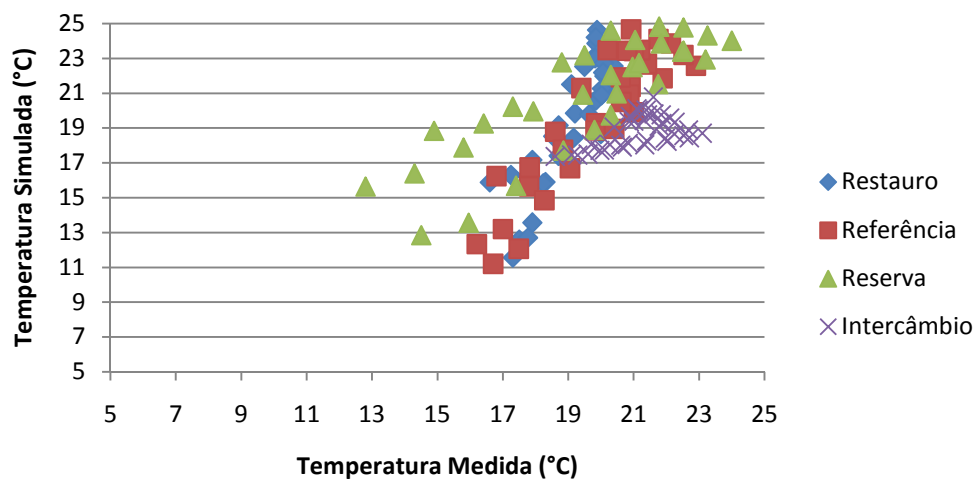


Figura D.4: Temperatura do ar medida e simulada no pavimento térreo, no inverno para a simulação B.

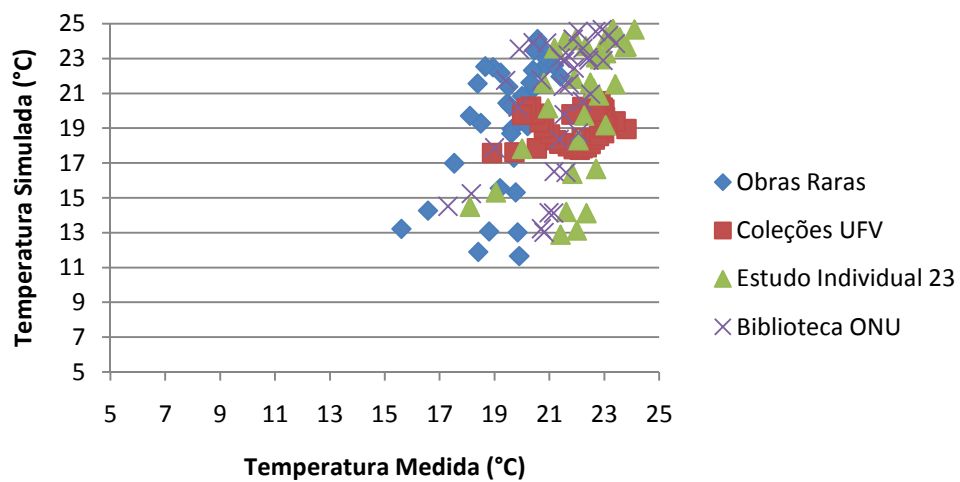


Figura D.5: Temperatura do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no inverno para a simulação B.

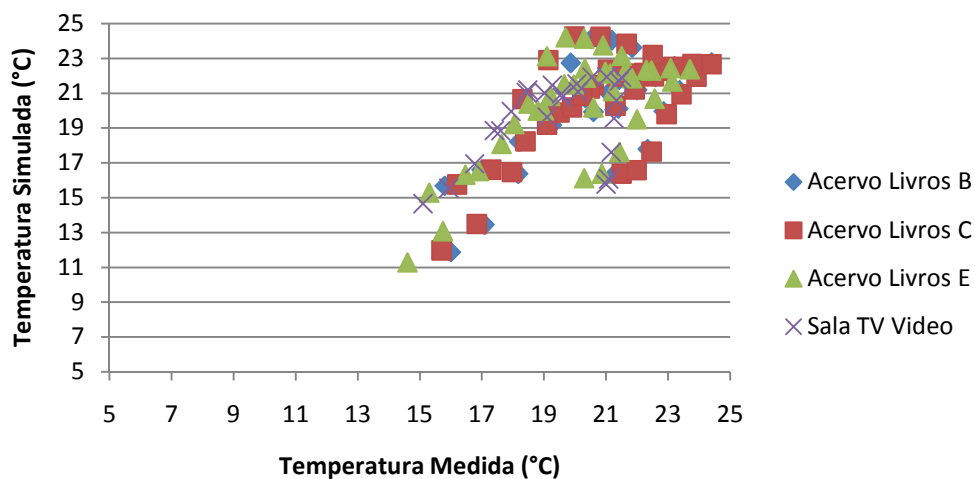


Figura D.6: Temperatura do ar medida e simulada no segundo pavimento, no inverno para a simulação B.

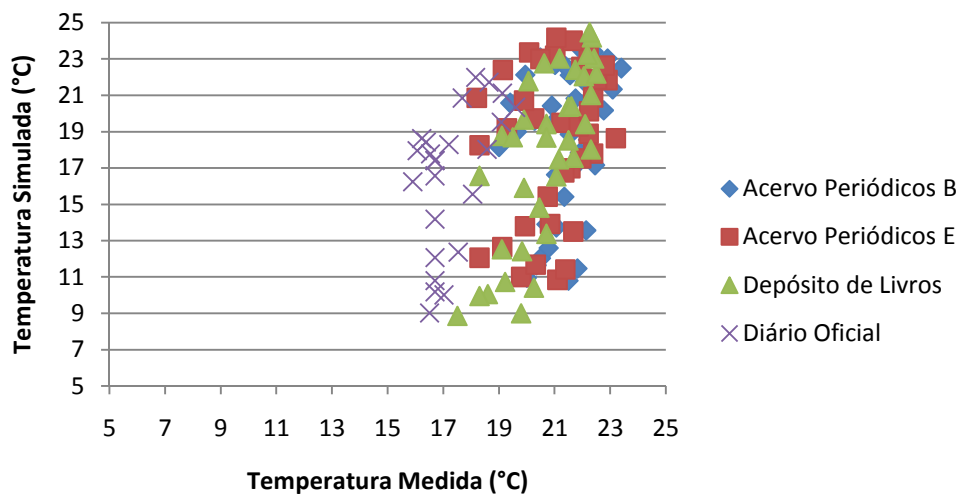


Figura D.7: Temperatura do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no inverno para a simulação B.

APÊNDICE E – Gráficos da umidade relativa do ar da simulação B

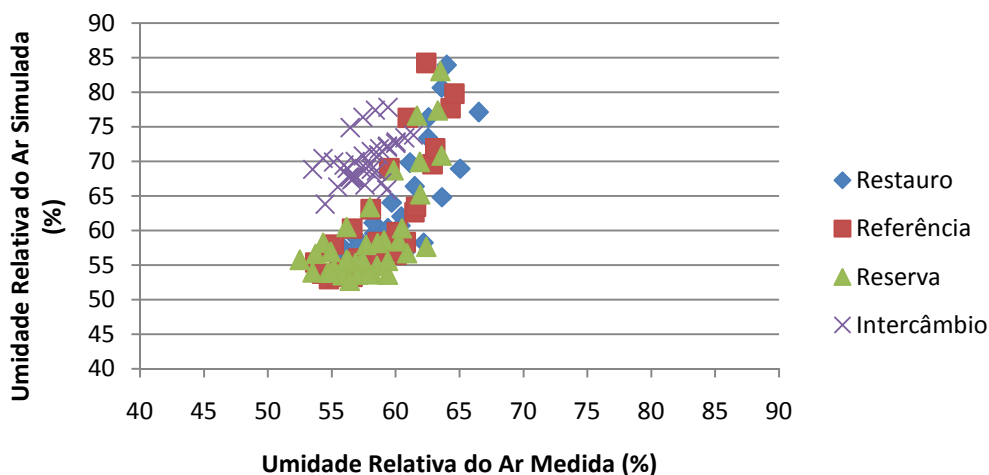


Figura E.1: Umidade relativa do ar medida e simulada no pavimento térreo, no verão para a simulação B.

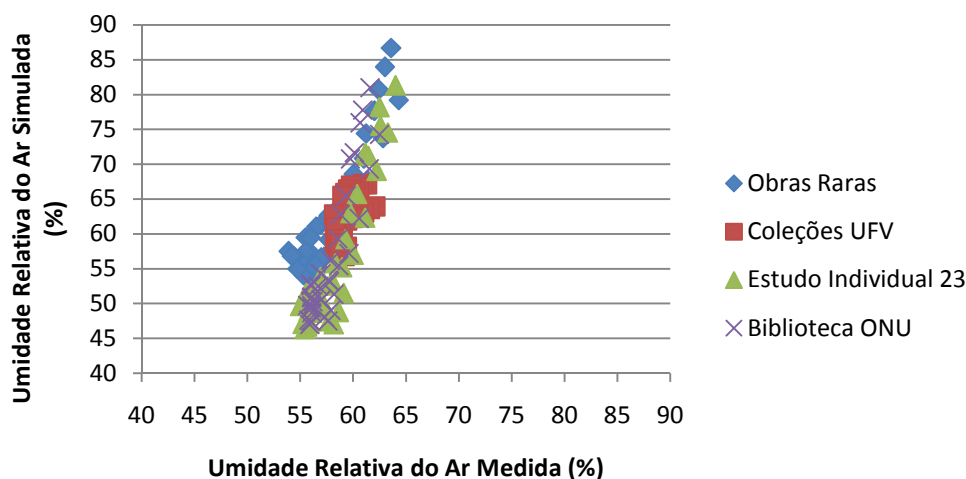


Figura E.2: Umidade relativa do ar medida e simulada no primeiro pavimento, o verão para a simulação B.

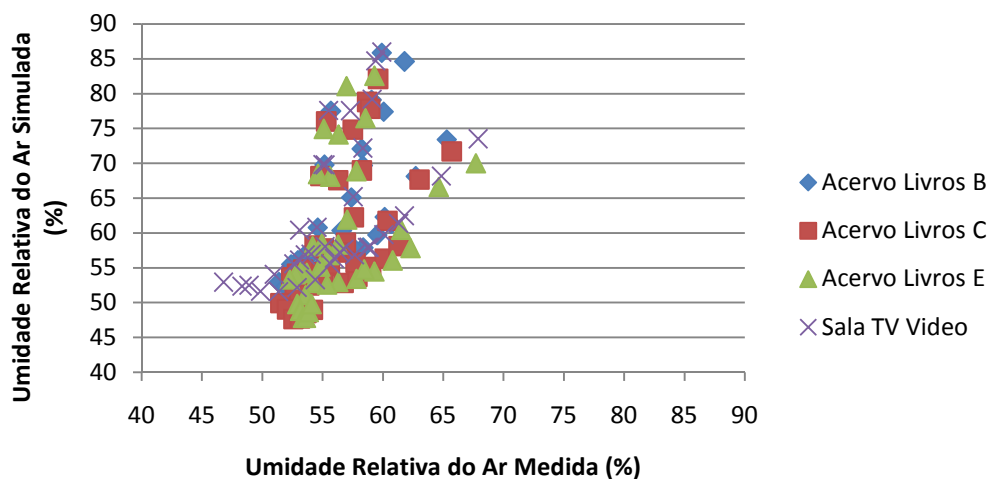


Figura E.3: Umidade relativa do ar medida e simulada no segundo pavimento, no verão para a simulação B.

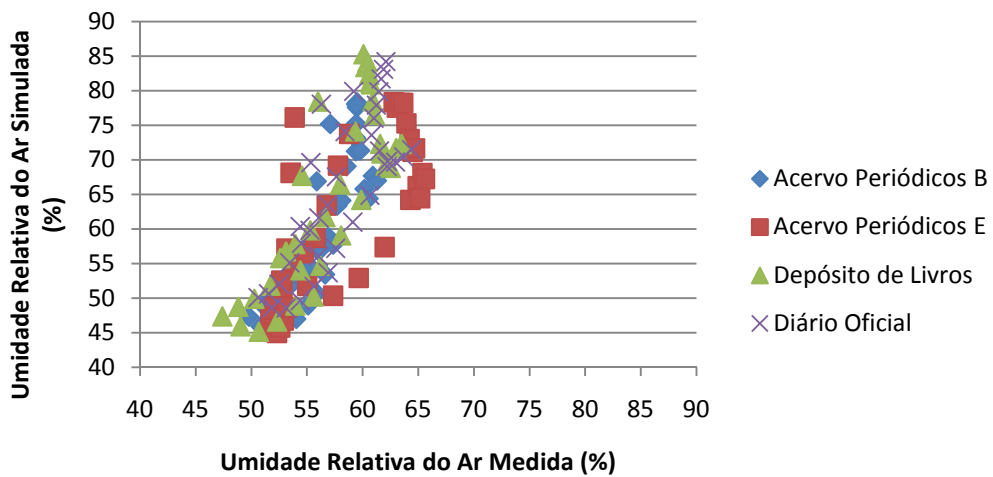


Figura E.4: Umidade relativa do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para a simulação B.

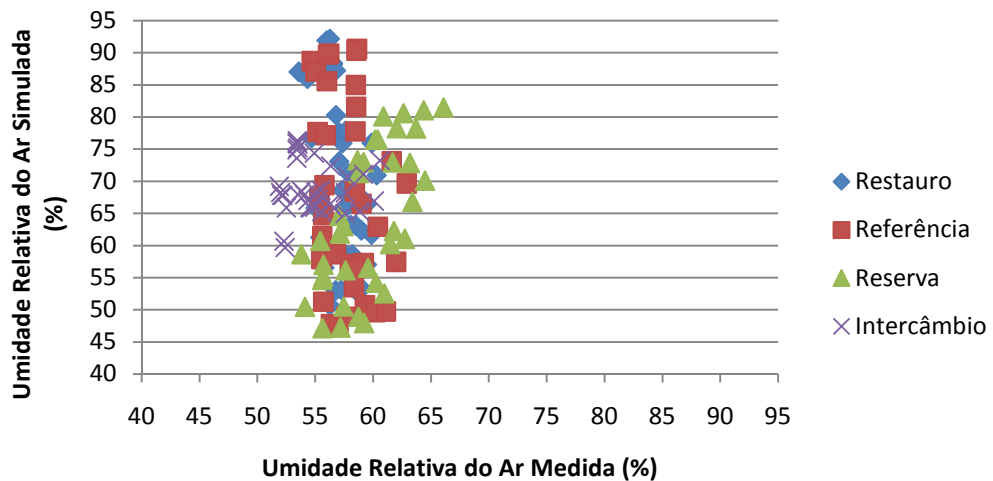


Figura E.5: Umidade relativa do ar medida e simulada no pavimento térreo, no inverno para a simulação B.

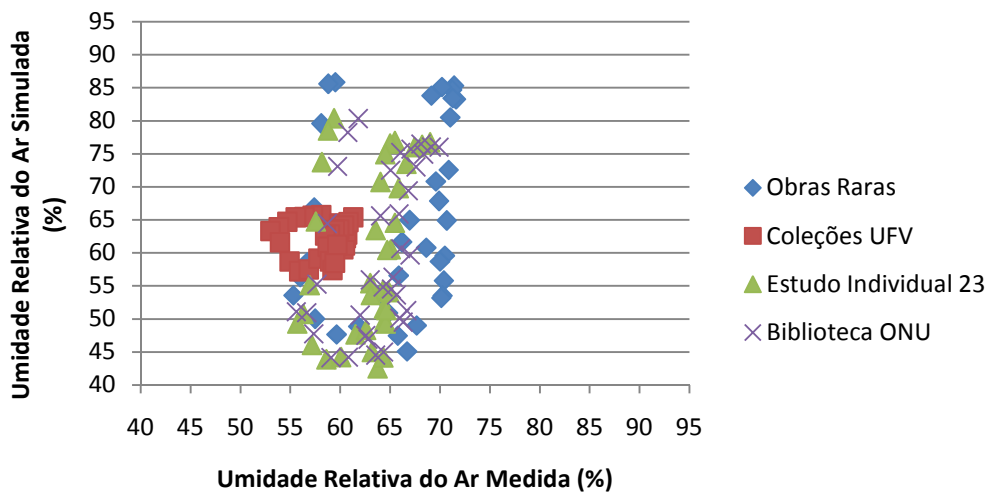


Figura E.6: Umidade relativa do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no inverno para a simulação B.

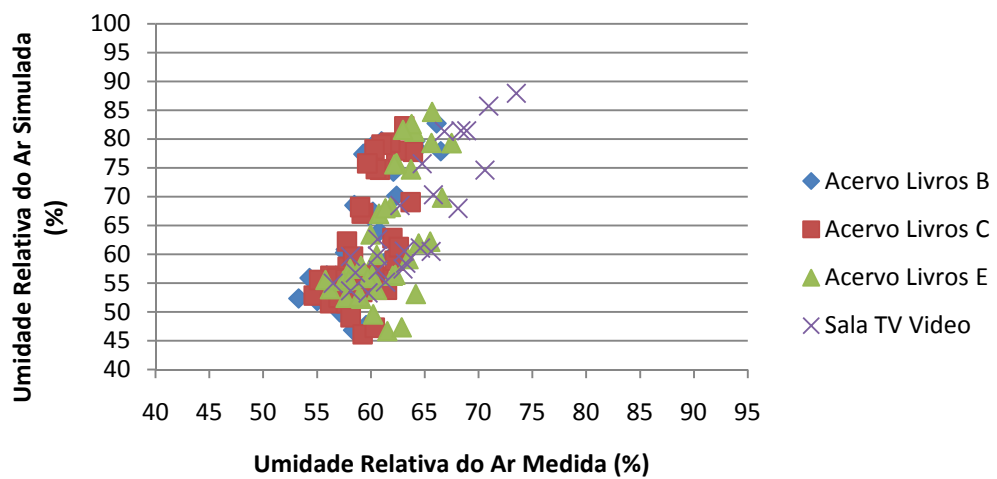


Figura E.7: Umidade relativa do ar medida e simulada no segundo pavimento, no inverno para a simulação B.

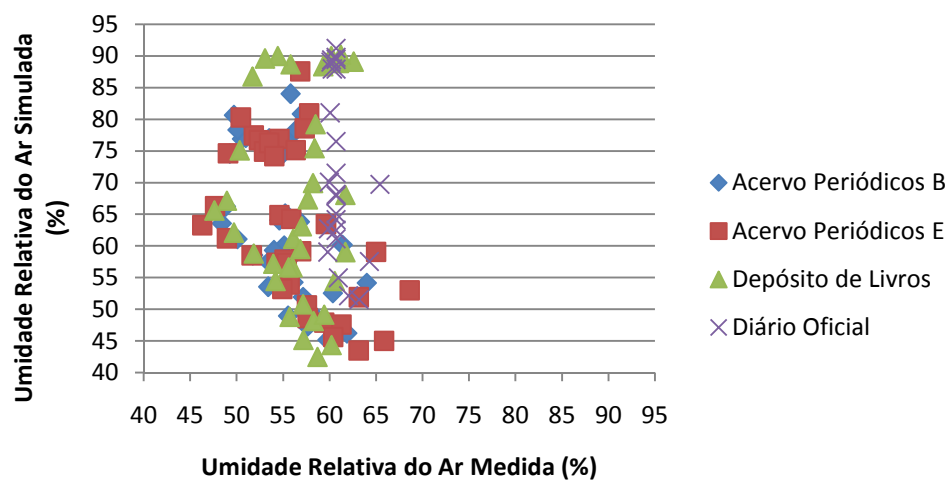


Figura E.8: Umidade relativa do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no inverno para a simulação B.

APÊNDICE F – Gráficos da temperatura média radiante da simulação B

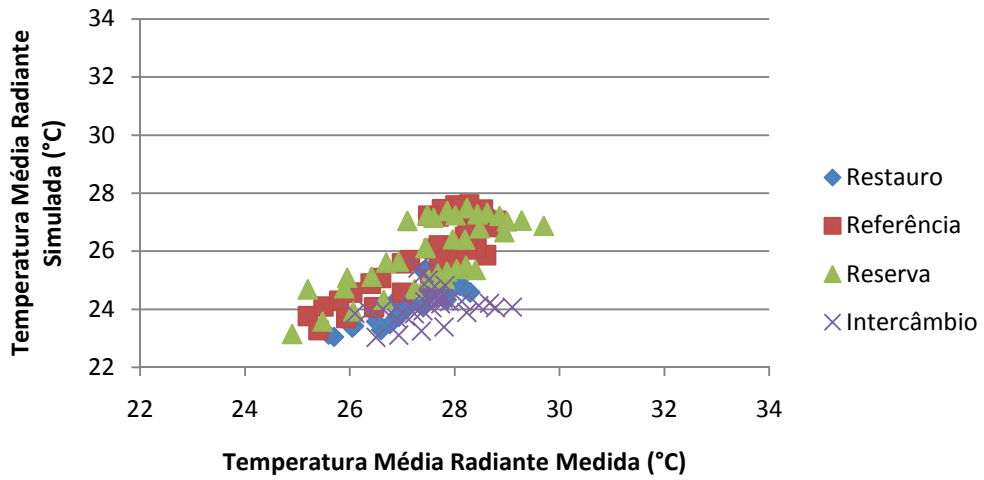


Figura F.1: Temperatura média radiante medida e simulada no pavimento térreo, no verão para a simulação B.

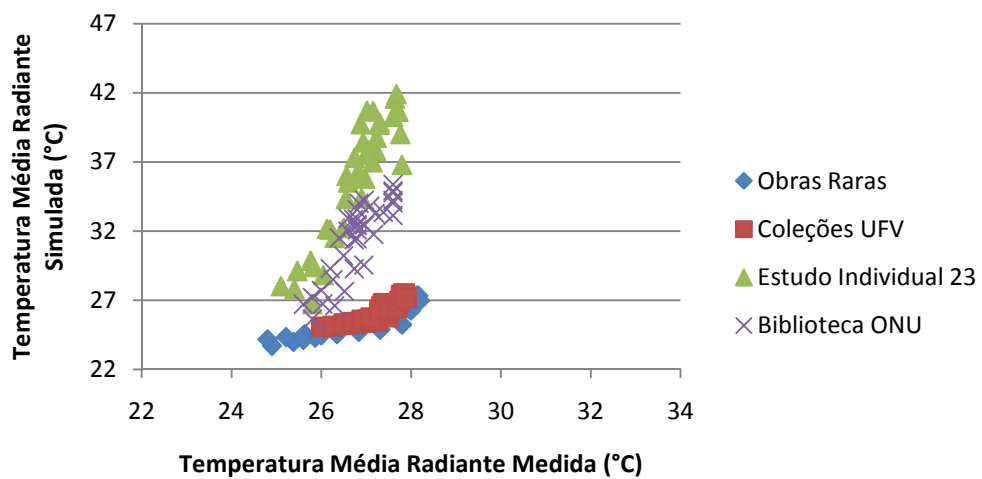


Figura F.2: Temperatura média radiante e simulada no primeiro pavimento, no verão para a simulação B.

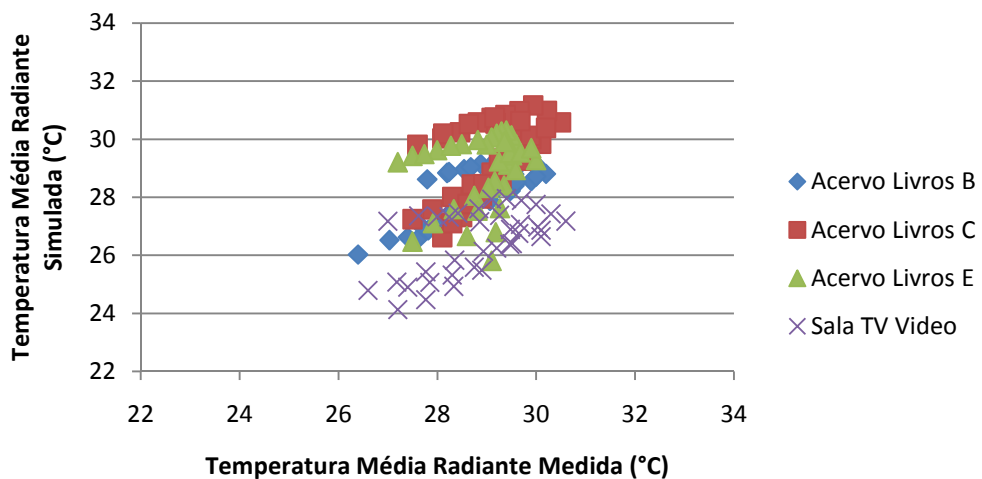


Figura F.3: Temperatura média radiante medida e simulada no segundo pavimento, no verão para a simulação B.

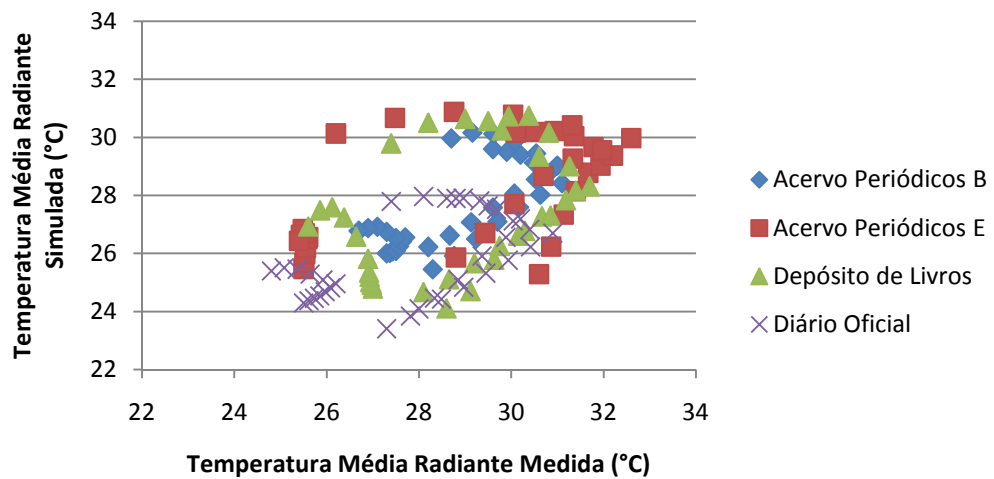


Figura F.4: Temperatura média radiante medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para a simulação B.

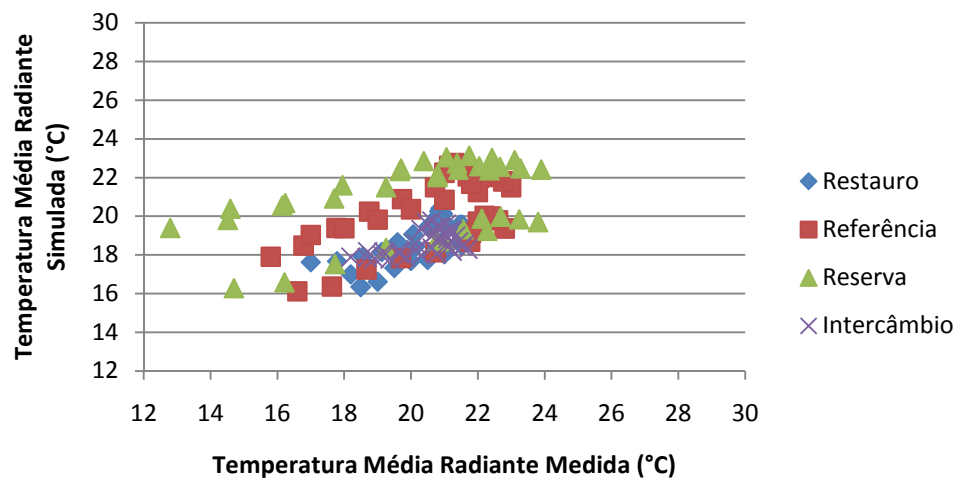


Figura F.5: Temperatura média radiante medida e simulada no pavimento térreo, no inverno para a simulação B.

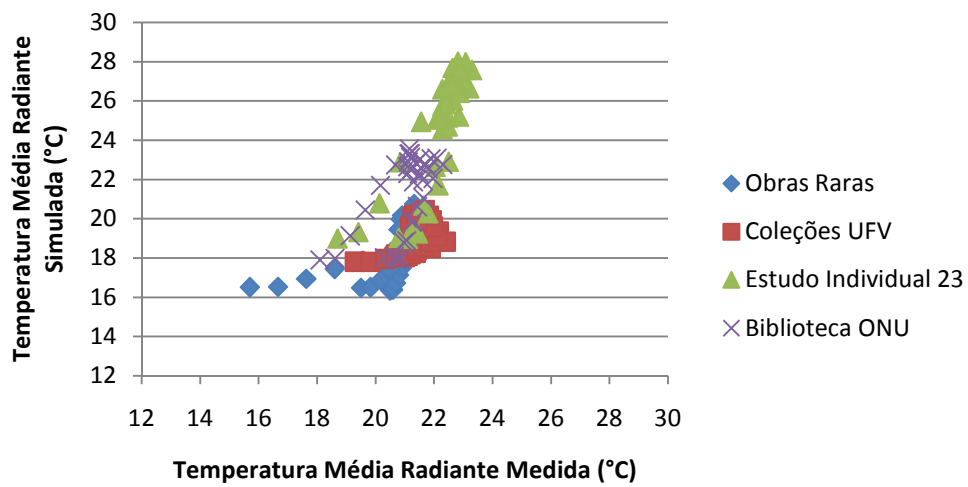


Figura F.6: Temperatura média radiante medida e simulada no primeiro pavimento, no inverno para a simulação B.

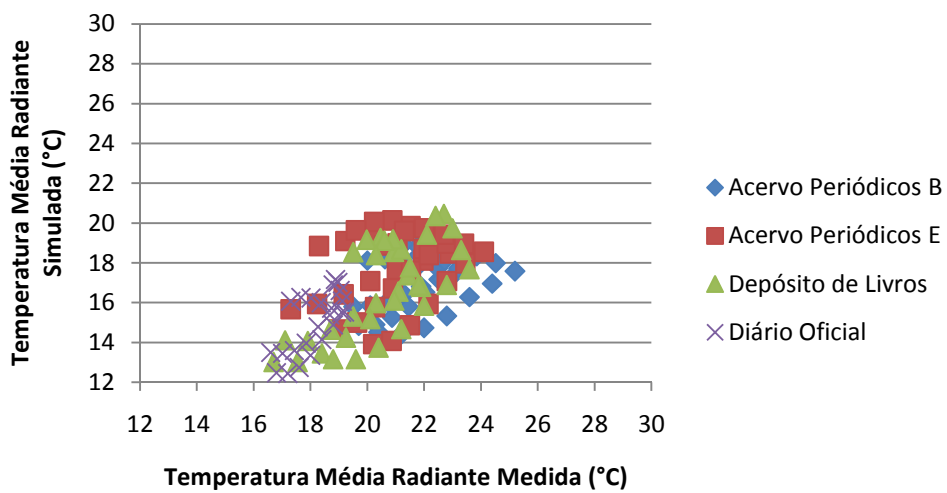


Figura F7: Temperatura média radiante medida e simulada no terceiro pavimento, no inverno para a simulação B.

APÊNDICE G – Resultados médios dos valores medidos e simulados da simulação B

Tabela G.1: Valores médios dos dados medidos e simulados e a diferença entre eles por ambiente no verão

Salas	Verão								
	Temperatura média do ar (°C)			Umidade Relativa (%)			Temperatura média radiante (°C)		
	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença
Restauração	26,76	26,4	0,36	59,57	62,45	-2,88	27,34	24,42	2,92
Referência	27,12	27,11	0,01	58,4	60,09	-1,69	27,47	25,87	1,6
Reserva	27,16	27,31	-0,15	58,12	59,36	-1,24	27,54	25,88	1,66
Intercâmbio	27,41	24,38	3,03	57,56	70,38	-12,82	27,52	24,15	3,37
Estudos 2º Grau	27,39	27,26	0,13	57,74	59,48	-1,74	27,71	25,6	2,11
Obras Raras	26,21	25,73	0,48	58,19	63,35	-5,16	26,94	25,46	1,48
Coleções da UFV	27,13	26,04	1,09	59,43	62,18	-2,75	27,17	26,02	1,15
Estudo Individual 22	27,15	27,71	-0,56	57,22	56,85	0,37	27,19	35,73	-8,54
Estudo Individual 23	26,73	27,7	-0,97	58,35	56,91	1,44	26,75	35,5	-8,75
Estudo em Grupo 20	26,06	26,53	-0,47	60,06	60,6	-0,54	26,29	26,34	-0,05
Estudo em Grupo 24	26,61	26,55	0,06	58,48	60,53	-2,05	26,58	26,43	0,15
Biblioteca ONU	26,75	27,58	-0,83	57,95	57,33	0,62	26,77	31,29	-4,52
Mapoteca	27,08	26,31	0,77	57,82	61,43	-3,61	27,09	25,64	1,45
Acervo Livros A	28,31	27,62	0,69	50,67	59,95	-9,28	29,12	28,99	0,13
Acervo Livros B	28,3	27,69	0,61	56,49	59,64	-3,15	28,77	28,2	0,57
Acervo Livros C	28,35	27,8	0,55	56,34	59,25	-2,91	29,06	29,44	-0,38
Acervo Livros D	28,26	27,81	0,45	56,74	59,19	-2,45	28,63	28,21	0,42
Acervo Livros E	28,41	27,8	0,61	56,45	59,24	-2,79	28,94	28,8	0,14
Videoteca	28,34	27,01	1,33	56,57	62	-5,43	28,79	26,4	2,39
Sala TV e Vídeo	28,54	26,98	1,56	55,91	62,04	-6,13	28,77	26,4	2,37
PS	28,55	26,99	1,56	56,3	62	-5,7	28,8	26,46	2,34
Coleções Braille	28,53	27,22	1,31	56,64	61	-4,36	28,95	27,7	1,25
Acervo Periódicos B	28,39	27,15	1,24	57,04	61,33	-4,29	28,98	28,47	0,51
Acervo Periódicos C	28,05	27,18	0,87	57,64	61,21	-3,57	28,6	27,78	0,82
Acervo Periódicos D	27,89	27,24	0,65	58,12	60,99	-2,87	28,87	28,14	0,73
Acervo Periódicos E	27,2	26,42	0,78	58,53	64,09	-5,56	28,21	27,54	0,67
Depósito de Livros	28,18	26,39	1,79	56,86	64,46	-7,6	28,76	27,32	1,44
Jornal de Minas Gerais	28,02	26,08	1,94	57,72	65,34	-7,62	28,2	25,82	2,38
Diário Oficial	27,86	26,07	1,79	57,9	65,31	-7,41	27,95	25,81	2,14

Tabela G.2: Valores médios dos dados medidos e simulados e a diferença entre eles por ambiente no inverno

Inverno									
Salas	Temperatura média do ar (°C)			Umidade Relativa (%)			Temperatura média radiante (°C)		
	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença
Restauração	19,24	19,43	-0,19	57,23	66,27	-9,04	20,34	18,61	1,73
Referência	20	20,17	-0,17	57,69	68,81	-11,12	20,49	20,15	0,34
Reserva	19,61	21,4	-1,79	59,56	64,41	-4,85	20,03	20,8	-0,77
Intercâmbio	21,14	18,74	2,4	54,9	68,96	-14,06	20,41	18,6	1,81
Estudos 2º Grau	20,36	20,68	-0,32	58,58	67,38	-8,8	19,9	19,6	0,3
Obras Raras	19,54	19,45	0,09	65,93	65,03	0,9	20,45	18,39	2,06
Coleções da UFV	21,86	18,85	3,01	58,53	62,03	-3,5	21,32	18,88	2,44
Estudo Individual 22	22,26	20,73	1,53	62,01	62,01	0	21,91	21,91	0
Estudo Individual 23	22,28	20,72	1,56	62,84	62,84	0	22,05	22,05	0
Estudo em Grupo 20	20,93	20,1	0,83	66,66	63,59	3,07	20,85	19,47	1,38
Estudo em Grupo 24	21,53	20,12	1,41	63,89	63,52	0,37	21,44	19,55	1,89
Biblioteca da ONU	21,31	20,49	0,82	63,8	60,73	3,07	21,01	21,13	-0,12
Mapoteca	20,72	19,55	1,17	64,98	64,67	0,31	20,53	17,87	2,66
Acervo Livros A	20,89	20,2	0,69	51,7	63,1	-11,4	21,08	17,8	3,28
Acervo Livros B	20,94	20,18	0,76	59,31	62,94	-3,63	20,92	19,52	1,4
Acervo Livros C	20,79	20,24	0,55	59,84	62,6	-2,76	20,91	20,37	0,54
Acervo Livros D	20,38	20,14	0,24	60,56	63,08	-2,52	20,44	19,51	0,93
Acervo Livros E	20,03	20,14	-0,11	61,56	63,25	-1,69	20,06	19,92	0,14
Videoteca	20,19	19,54	0,65	62,6	65,31	-2,71	19,86	17,18	2,68
Sala TV e Vídeo	19,36	19,44	-0,08	63,92	65,85	-1,93	19,22	17,77	1,45
PS	19,33	19,44	-0,11	63,07	65,87	-2,8	19,67	17,78	1,89
Coleções Braille	20,01	18,22	1,79	56,01	64,14	-8,13	21,93	16,96	4,97
Acervo Periódicos B	21,31	18,3	3,01	55	64,07	-9,07	21,94	17,7	4,24
Acervo Periódicos C	21,29	18,29	3	55,12	64,07	-8,95	21,39	17,15	4,24
Acervo Periódicos D	21,03	18,44	2,59	55,64	63,55	-7,91	21,03	17,7	3,33
Acervo Periódicos E	20,98	17,56	3,42	56,09	68,15	-12,06	21,18	16,74	4,44
Depósito de Livros	20,67	17,68	2,99	56,68	67,7	-11,02	20,55	16,58	3,97
Jornal de Minas Gerais	18,77	17,28	1,49	57,74	68,89	-11,15	18,81	15,32	3,49
Diário Oficial	17,29	17,17	0,12	61,02	69,54	-8,52	18,16	15,71	2,45

APÊNDICE H – Gráficos da temperatura do ar da simulação C

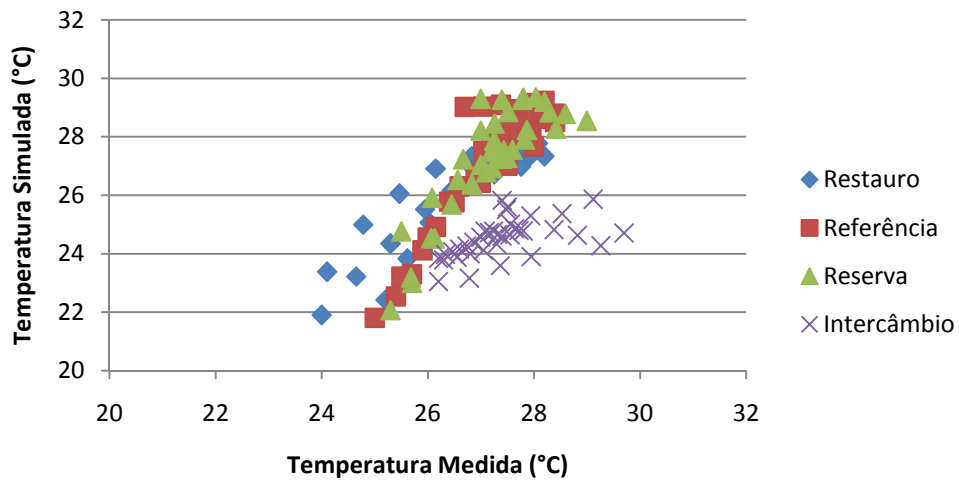


Figura H.1: Temperatura média do ar medida e simulada no pavimento térreo, no verão para a simulação C.

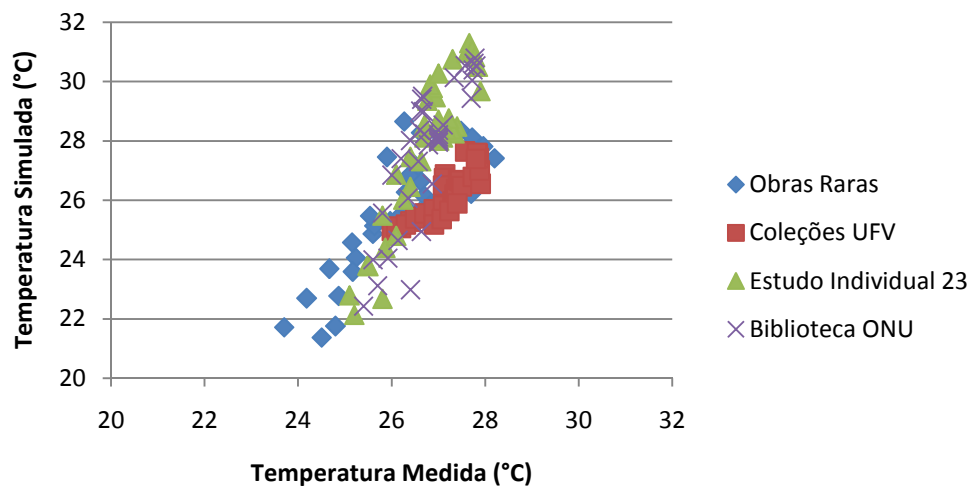


Figura H.2: Temperatura média do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no verão para a simulação C.

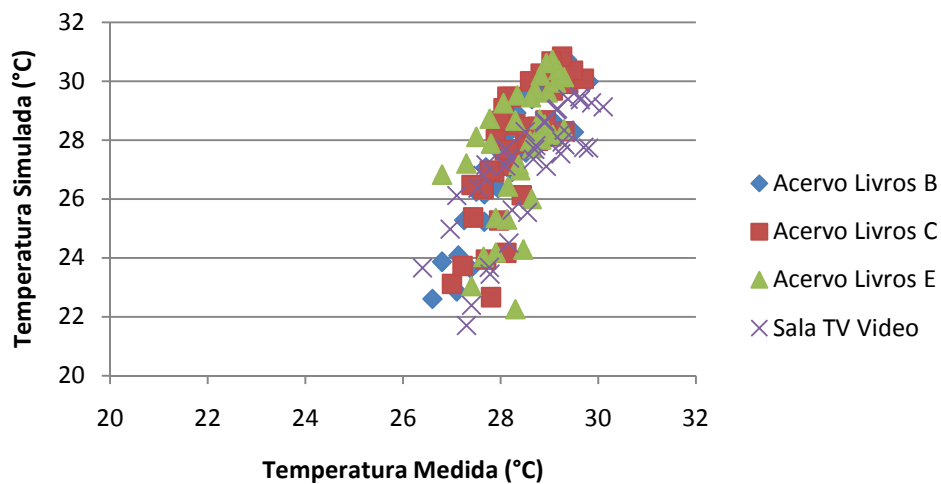


Figura H.3: Temperatura média do ar medida e simulada no segundo pavimento, no verão para a simulação C.

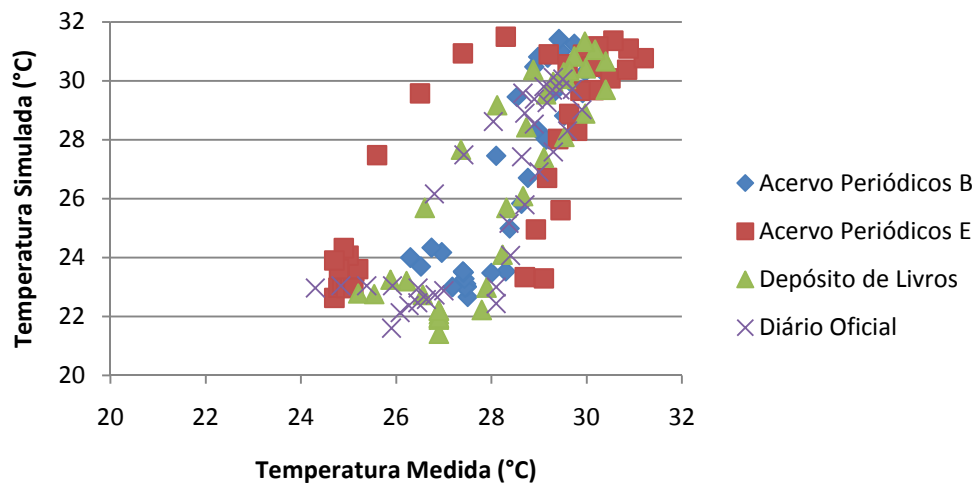


Figura H.4: Temperatura média do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para a simulação C.

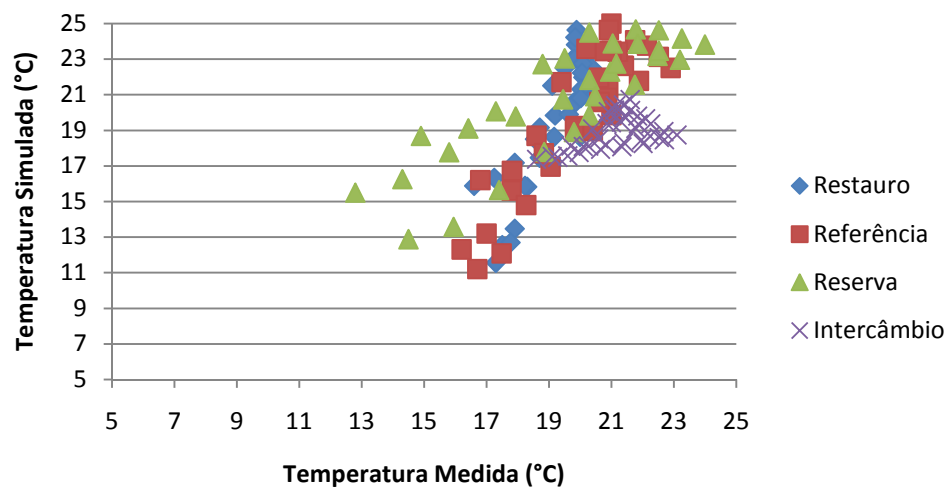


Figura H.5: Temperatura média do ar medida e simulada no pavimento térreo, no inverno para a simulação C.

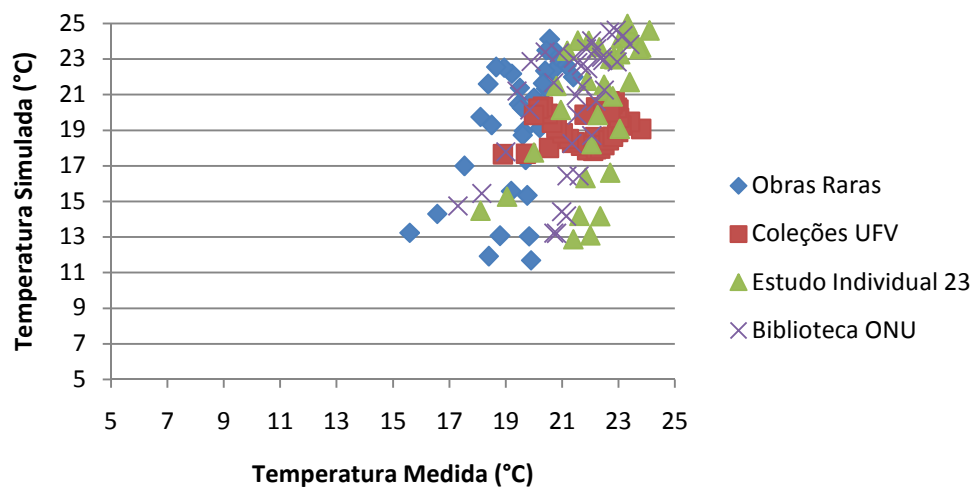


Figura H.6: Temperatura média do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no inverno para a simulação C.

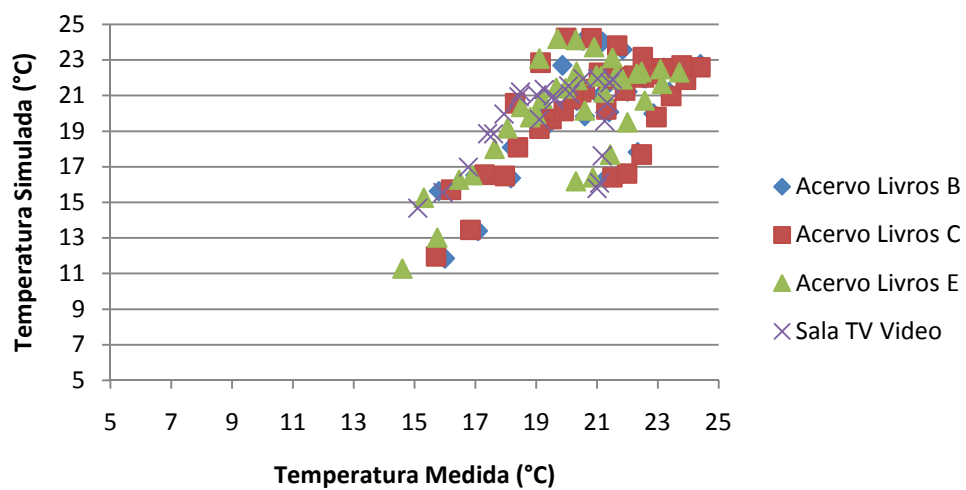


Figura H.7: Temperatura média do ar medida e simulada no segundo pavimento, no inverno para a simulação C.

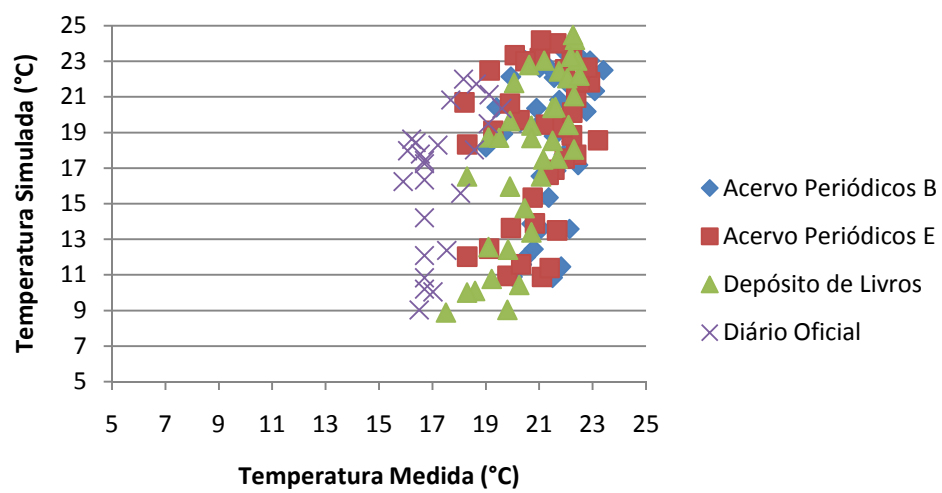


Figura H.8: Temperatura média do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no inverno para a simulação C.

APÊNDICE I – Gráficos da umidade relativa do ar da simulação C

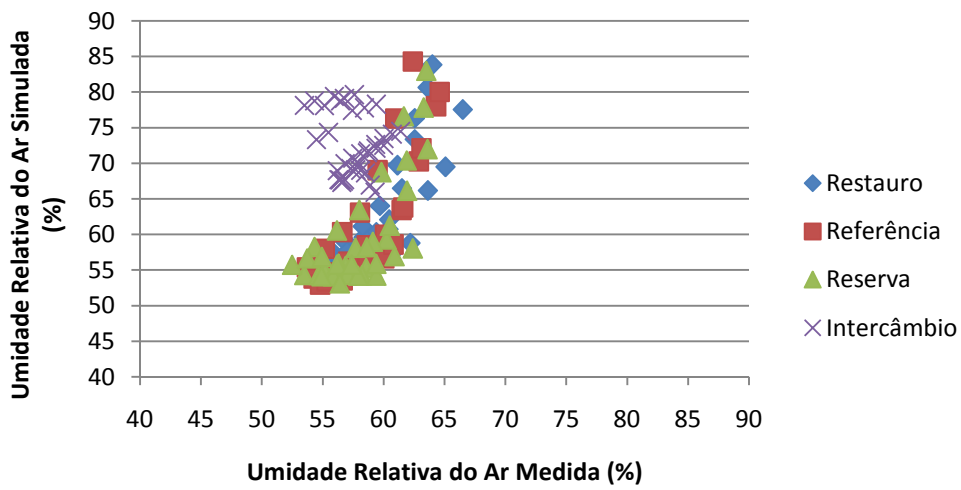


Figura I.1: Umidade relativa do ar medida e simulada no pavimento térreo, no verão para a simulação C.

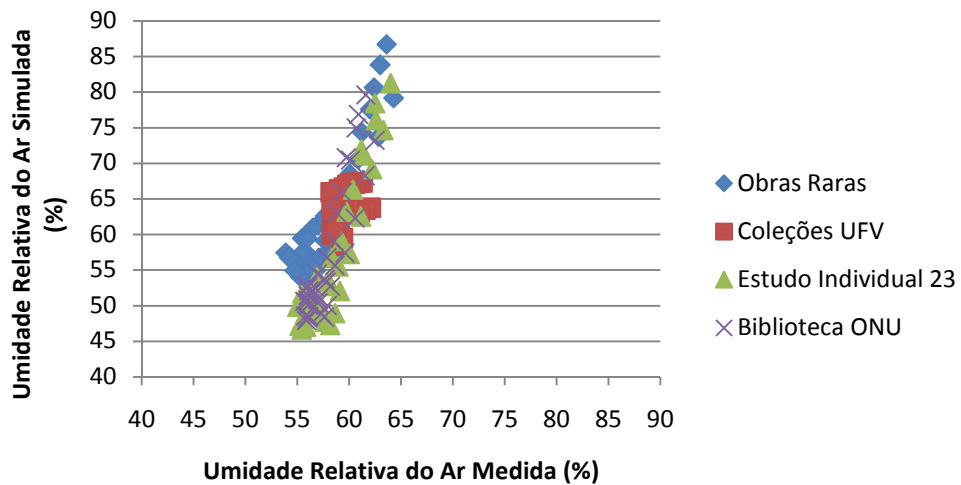


Figura I.2: Umidade relativa do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no verão para a simulação C.

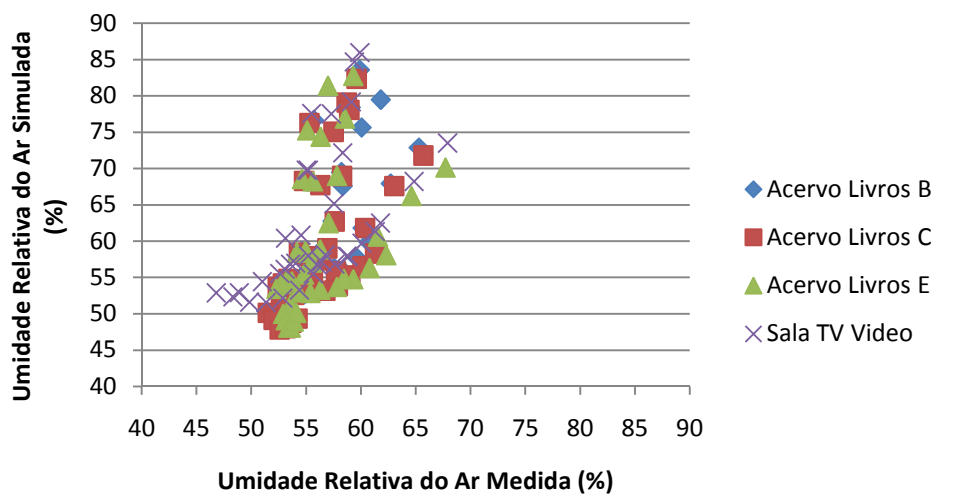


Figura I.3: Umidade relativa do ar medida e simulada no segundo pavimento, no verão para a simulação C.

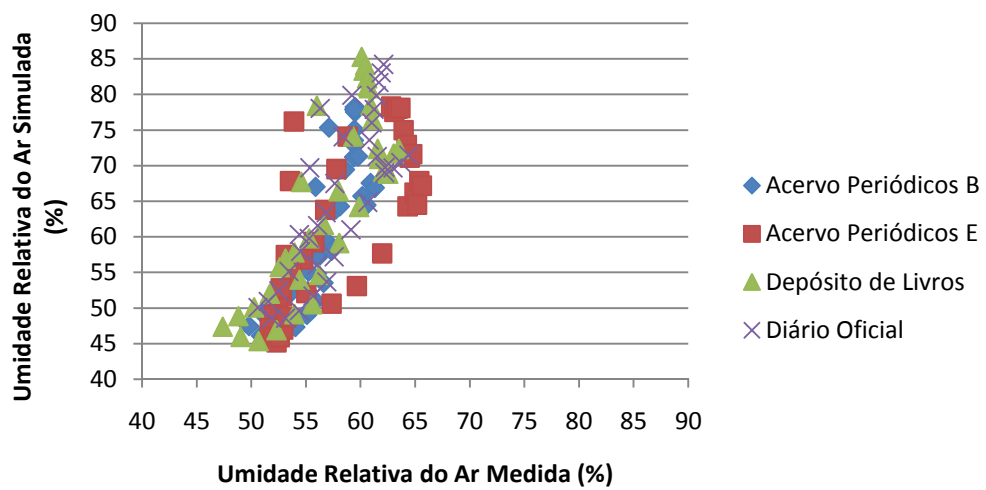


Figura I.4: Umidade relativa do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para a simulação C.

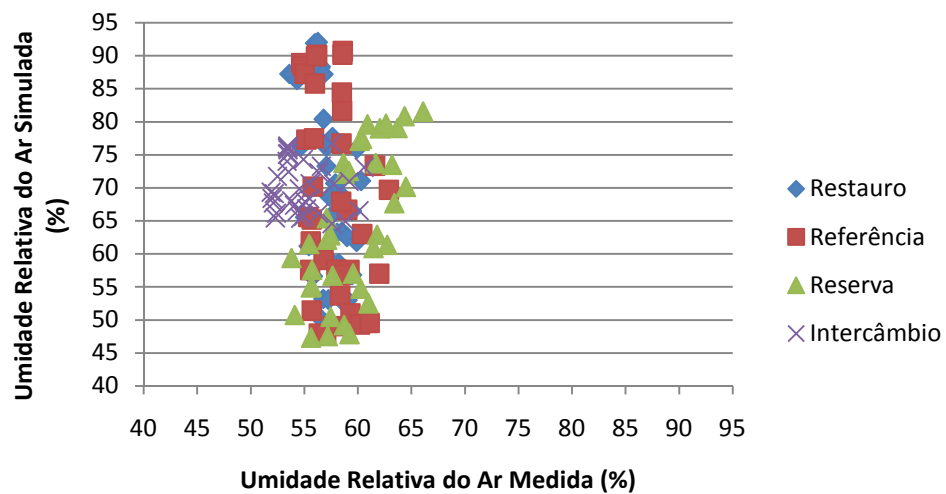


Figura I.5: Umidade relativa do ar medida e simulada no pavimento térreo, no inverno para a simulação C.

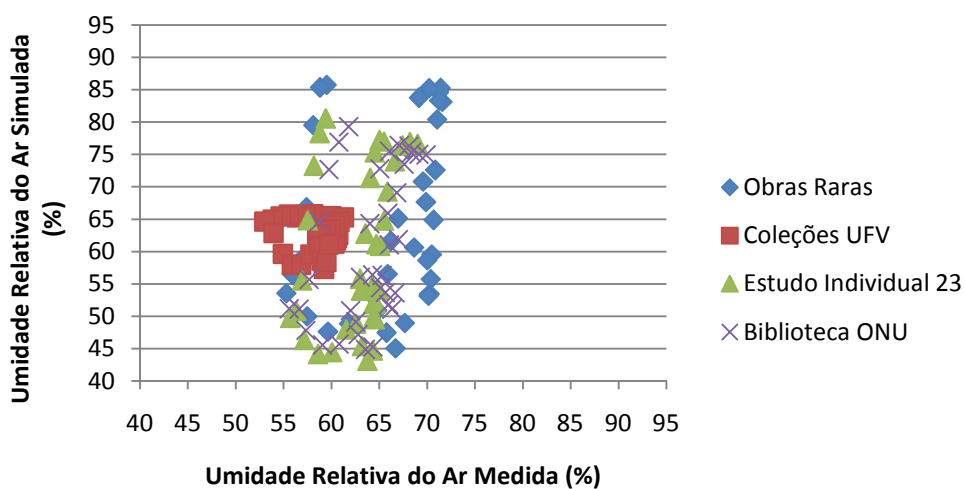


Figura I.6: Umidade relativa do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no inverno para a simulação C.

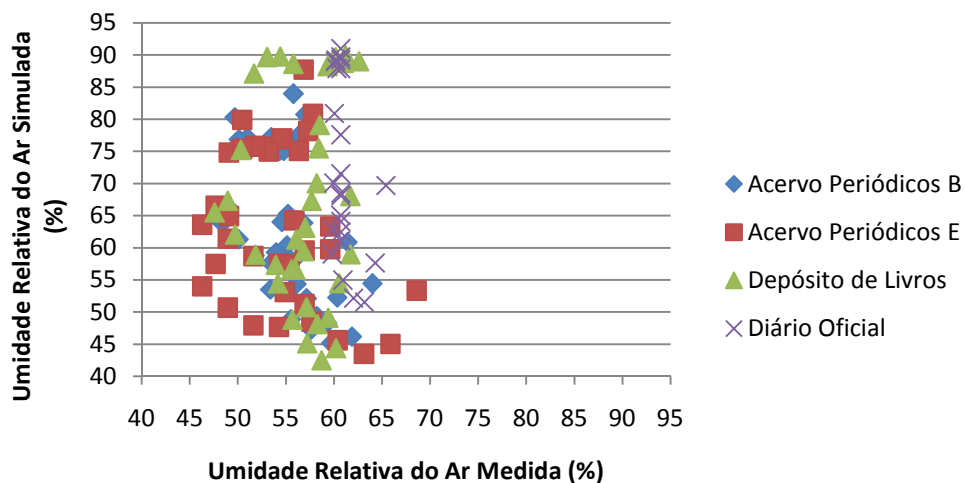


Figura I.7: Umidade relativa do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no inverno para a simulação C.

APÊNDICE J – Gráficos da temperatura média radiante da simulação C

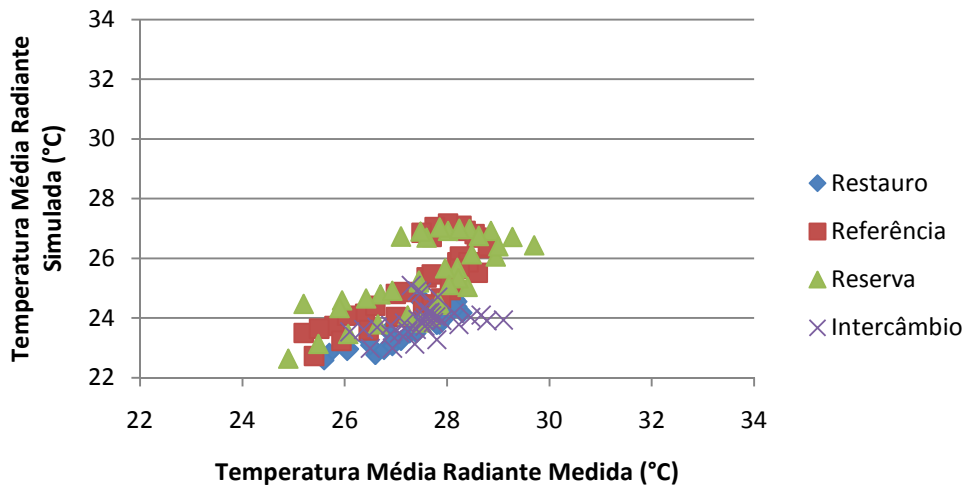


Figura J.1: Temperatura média radiante medida e simulada no pavimento térreo, no verão para a simulação C.

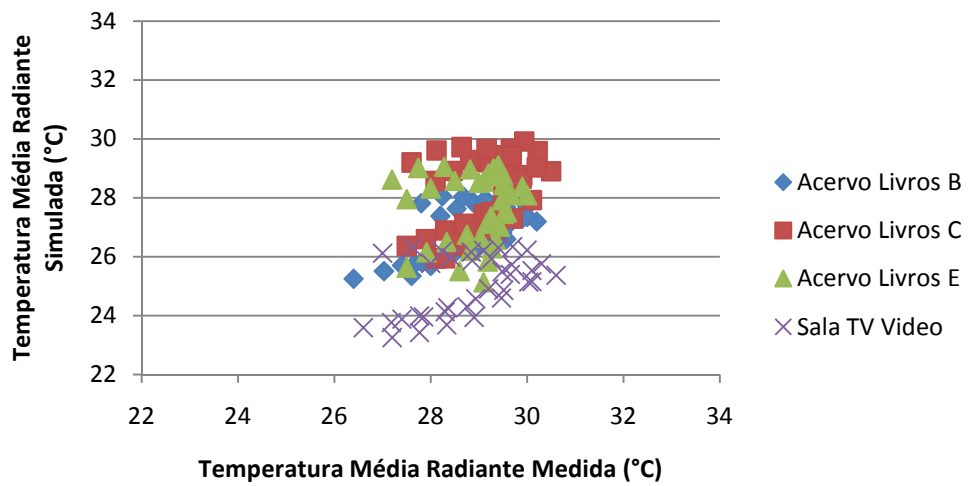


Figura J.2: Temperatura média radiante medida e simulada no segundo pavimento, no verão para a simulação C.

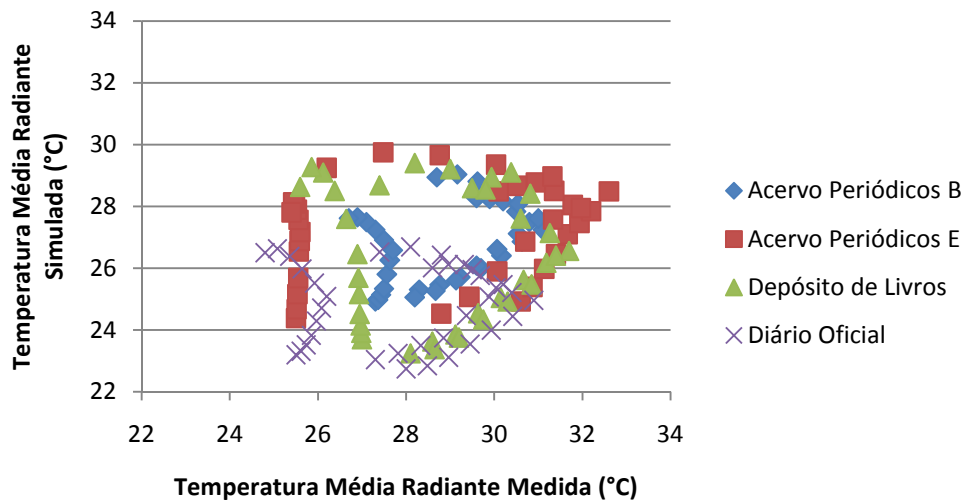


Figura J.3: Temperatura média radiante medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para a simulação C.

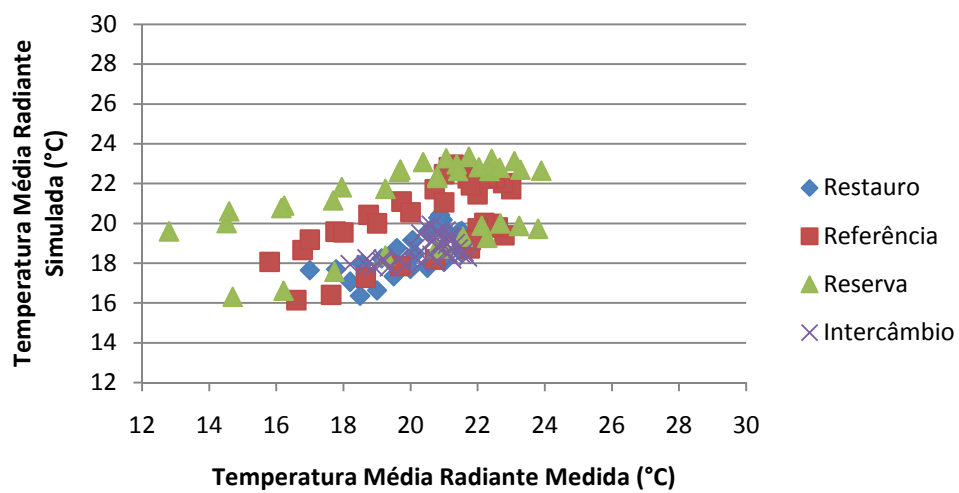


Figura J.4: Temperatura média radiante medida e simulada no pavimento térreo, no inverno para a simulação C.

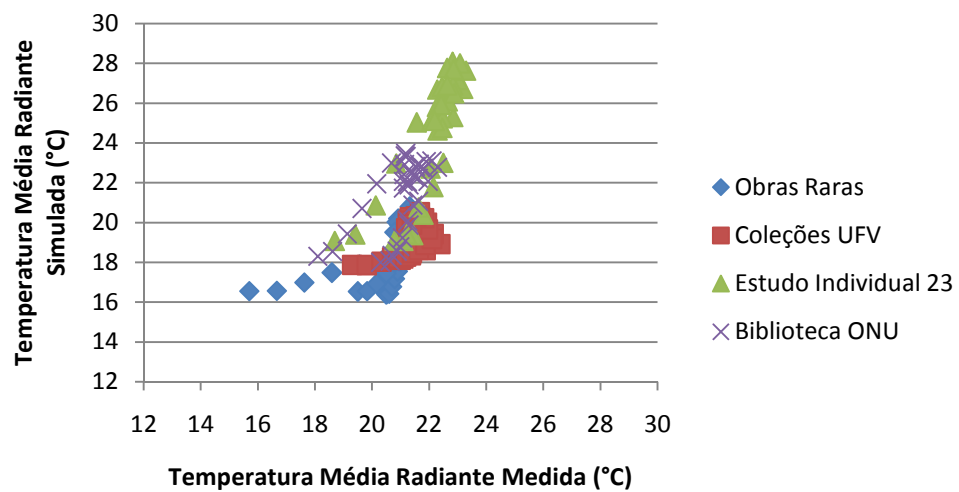


Figura J.5: Temperatura média radiante medida e simulada no primeiro pavimento, no inverno para a simulação C.

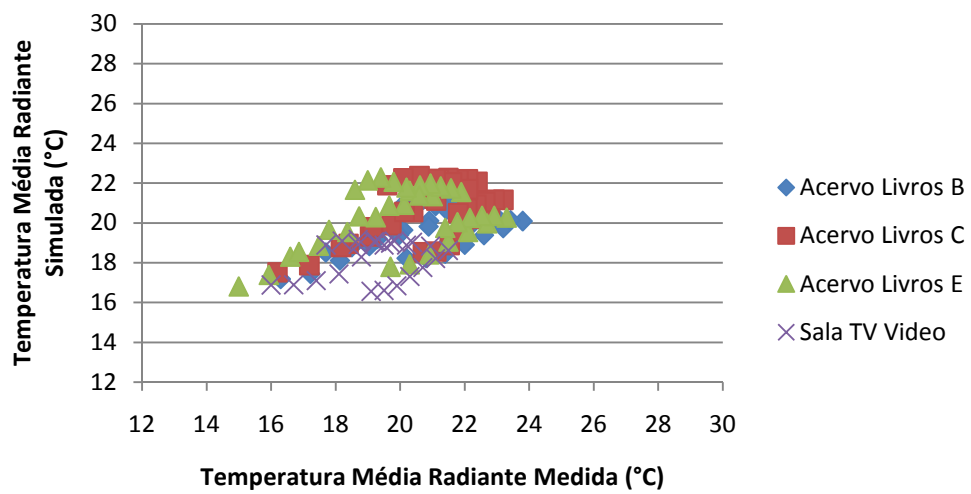


Figura J.6: Temperatura média radiante medida e simulada no segundo pavimento, no inverno para a simulação C.

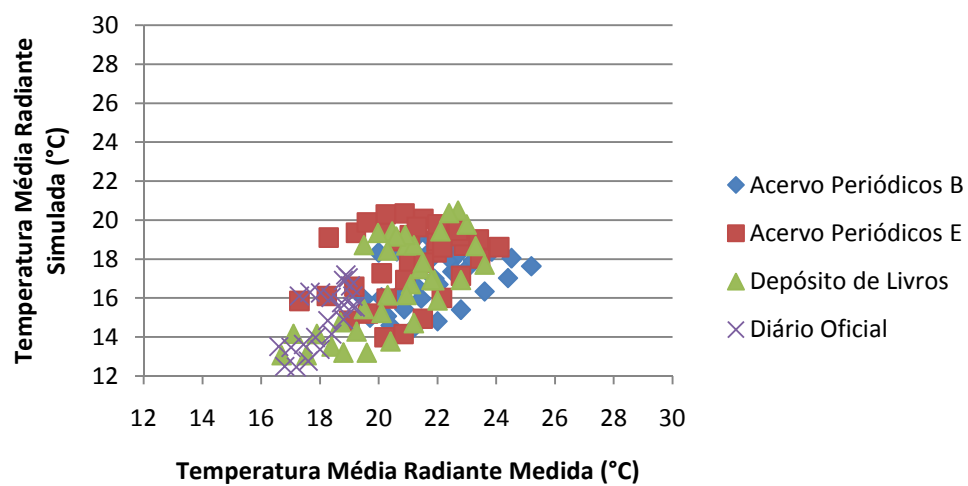


Figura J.7: Temperatura média radiante medida e simulada no terceiro pavimento, no inverno para a simulação C.

APÊNDICE L – Resultados médios dos valores medidos e simulados da simulação C

Tabela L.1: Valores médios dos dados medidos e simulados e a diferença entre eles por ambiente no verão

Verão									
Salas	Temperatura média do ar (°C)			Umidade Relativa (%)			Temperatura média radiante (°C)		
	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença
Restauração	26,76	26,38	0,38	59,57	63,24	-3,67	27,34	24,44	2,9
Referência	27,12	27,08	0,04	58,4	60,21	-1,81	27,47	26,01	1,46
Reserva	27,16	27,2	-0,04	58,12	59,7	-1,58	27,54	26,04	1,5
Intercâmbio	27,41	24,44	2,97	57,56	73,14	-15,58	27,52	24,2	3,32
Estudos 2º Grau	27,39	27,15	0,24	57,74	59,87	-2,13	27,71	25,72	1,99
Obras Raras	26,21	25,74	0,47	58,19	63,31	-5,12	26,94	25,51	1,43
Coleções da UFV	27,13	26,11	1,02	59,43	64	-4,57	27,17	26,09	1,08
Estudo Individual 22	27,15	27,61	-0,46	57,22	57,19	0,03	27,19	35,63	-8,44
Estudo Individual 23	26,73	26,65	0,08	58,35	57,24	1,11	26,75	35,42	-8,67
Estudo em Grupo 20	26,06	26,44	-0,38	60,06	60,91	-0,85	26,29	26,52	-0,23
Estudo em Grupo 24	26,61	26,46	0,15	58,48	60,85	-2,37	26,58	26,61	-0,03
Biblioteca da ONU	26,75	27,47	-0,72	57,95	57,6	0,35	26,77	26,89	-0,12
Mapoteca	27,08	26,2	0,88	57,82	61,78	-3,96	27,09	31,34	-4,25
Acervo Livros A	28,31	27,57	0,74	50,67	60,13	-9,46	29,12	29,27	-0,15
Acervo Livros B	28,3	27,63	0,67	56,49	59,82	-3,33	28,77	28,39	0,38
Acervo Livros C	28,35	27,74	0,61	56,34	59,45	-3,11	29,06	29,73	-0,67
Acervo Livros D	28,26	27,75	0,51	56,74	59,36	-2,62	28,63	28,43	0,2
Acervo Livros E	28,41	27,74	0,67	56,45	59,43	-2,98	28,94	29,19	-0,25
Videoteca	28,34	27	1,34	56,57	62,02	-5,45	28,79	26,46	2,33
Sala TV e Vídeo	28,54	26,98	1,56	55,91	62,05	-6,14	28,77	26,45	2,32
PS	28,55	26,99	1,56	56,3	62	-5,7	28,8	26,52	2,28
Coleções Braille	28,53	26,43	2,1	56,64	64,05	-7,41	28,95	27,59	1,36
Acervo Periódicos B	28,39	27,18	1,21	57,04	61,13	-4,09	28,98	27,85	1,13
Acervo Periódicos C	28,05	27,12	0,93	57,64	61,44	-3,8	28,6	28,65	-0,05
Acervo Periódicos D	27,89	27,15	0,74	58,12	61,33	-3,21	28,87	27,94	0,93
Acervo Periódicos E	27,2	27,2	0	58,53	61,12	-2,59	28,21	28,31	-0,1
Depósito de Livros	28,18	26,38	1,8	56,86	64,42	-7,56	28,76	27,4	1,36
Jornal Minas Gerais	28,02	26,08	1,94	57,72	65,33	-7,61	28,2	25,85	2,35
Diário Oficial	27,86	26,07	1,79	57,9	65,3	-7,4	27,95	25,84	2,11

Tabela L.2: Valores médios dos dados medidos e simulados e a diferença entre eles por ambiente para o inverno

Salas	Inverno								
	Temperatura média do ar (°C)			Umidade Relativa (%)			Temperatura média radiante (°C)		
	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença
Restauração	19,24	19,98	-0,74	57,23	67,51	-10,28	20,34	18,65	1,69
Referência	20	20,14	-0,14	57,69	68,94	-11,25	20,49	20,29	0,2
Reserva	19,61	21,3	-1,69	59,56	64,78	-5,22	20,03	20,96	-0,93
Intercâmbio	21,14	18,83	2,31	54,9	70,67	-15,77	20,41	18,66	1,75
Estudos 2º Grau	20,36	20,58	-0,22	58,58	67,72	-9,14	19,9	19,72	0,18
Obras Raras	19,54	19,46	0,08	65,93	65,01	0,92	20,45	18,44	2,01
Coleções da UFV	21,86	18,95	2,91	58,53	62,62	-4,09	21,32	18,96	2,36
Estudo Individual 22	22,26	20,67	1,59	62,01	60,45	1,56	21,91	24,31	-2,4
Estudo Individual 23	22,28	20,66	1,62	62,84	60,63	2,21	22,05	24,18	-2,13
Estudo em Grupo 20	20,93	20,05	0,88	66,66	63,81	2,85	20,85	19,68	1,17
Estudo em Grupo 24	21,53	20,07	1,46	63,89	63,76	0,13	21,44	19,75	1,69
Biblioteca da ONU	21,31	20,37	0,94	63,8	61,2	2,6	21,01	21,17	-0,16
Mapoteca	20,72	19,49	1,23	64,98	64,87	0,11	20,53	17,94	2,59
Acervo Livros A	20,89	20,16	0,73	51,7	63,25	-11,55	21,08	20,39	0,69
Acervo Livros B	20,94	20,15	0,79	59,31	63,06	-3,75	20,92	19,65	1,27
Acervo Livros C	20,79	20,2	0,59	59,84	63,06	-3,22	20,91	20,57	0,34
Acervo Livros D	20,38	20,1	0,28	60,56	63,22	-2,66	20,44	19,64	0,8
Acervo Livros E	20,03	20,1	-0,07	61,56	63,41	-1,85	20,06	20,13	-0,07
Videoteca	20,19	19,53	0,66	62,6	65,59	-2,99	19,86	17,92	1,94
Sala TV e Vídeo	19,36	19,43	-0,07	63,92	65,87	-1,95	19,22	17,81	1,41
PS	19,33	19,43	-0,1	63,07	65,88	-2,81	19,67	17,81	1,86
Coleções Braille	20,01	17,57	2,44	56,01	68,1	-12,09	21,93	16,79	5,14
Acervo Periódicos B	21,31	18,2	3,11	55	64,12	-9,12	21,94	17,11	4,83
Acervo Periódicos C	21,29	18,28	3,01	55,12	64,04	-8,92	21,39	17,88	3,51
Acervo Periódicos D	21,03	18,27	2,76	55,64	64,03	-8,39	21,03	17,31	3,72
Acervo Periódicos E	20,98	18,41	2,57	56,09	63,54	-7,45	21,18	17,87	3,31
Depósito de Livros	20,67	17,68	2,99	56,68	67,7	-11,02	20,55	16,66	3,89
Jornal de Minas Gerais	18,77	17,28	1,49	57,74	69,23	-11,49	18,81	15,35	3,46
Diário Oficial	17,29	17,17	0,12	61,02	69,53	-8,51	18,16	15,2	2,96

APÊNDICE M – Gráficos da temperatura do ar da simulação D

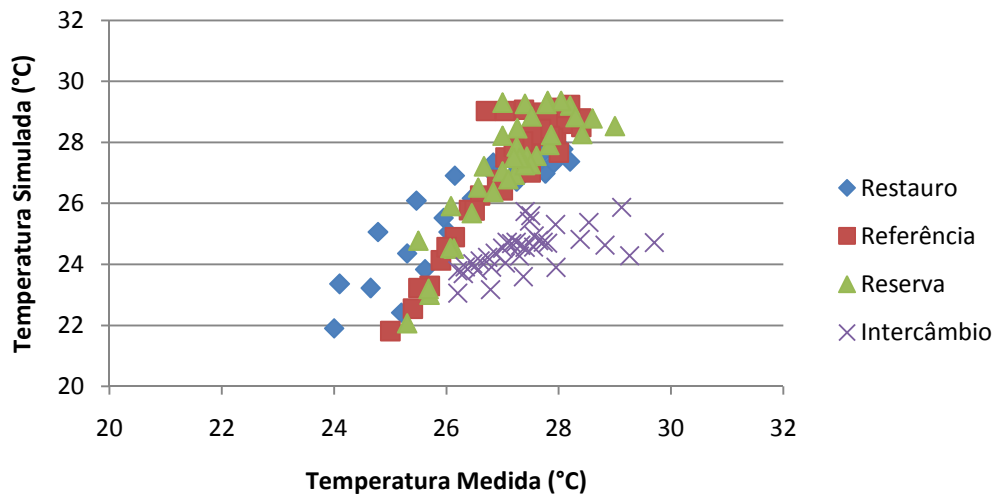


Figura M.1: Temperatura média do ar medida e simulada no pavimento térreo, no verão para a simulação D.

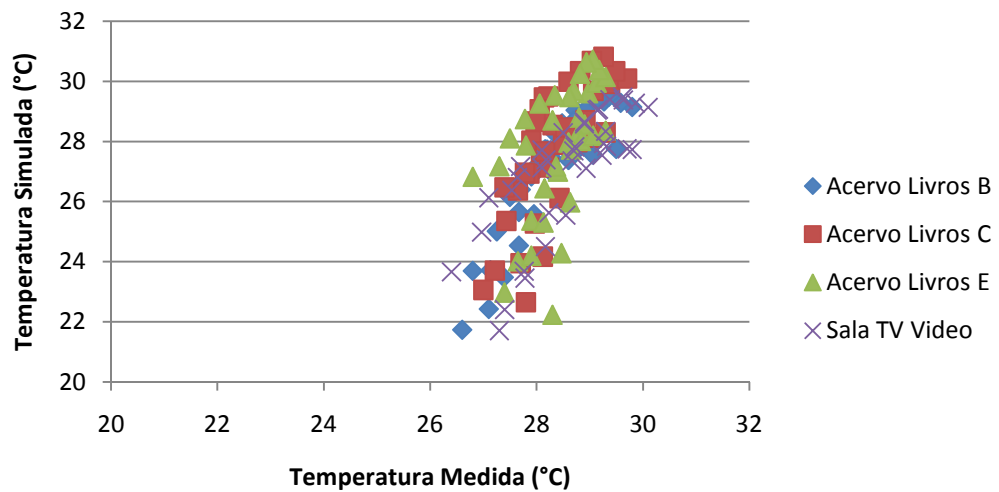


Figura M.2: Temperatura média do ar medida e simulada no segundo pavimento, no verão para a simulação D.

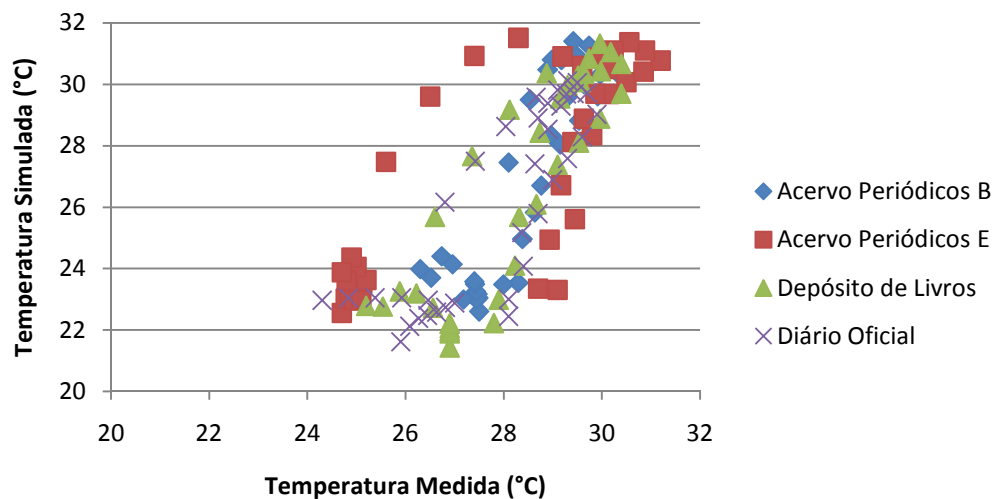


Figura M.3: Temperatura média do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para a simulação D.

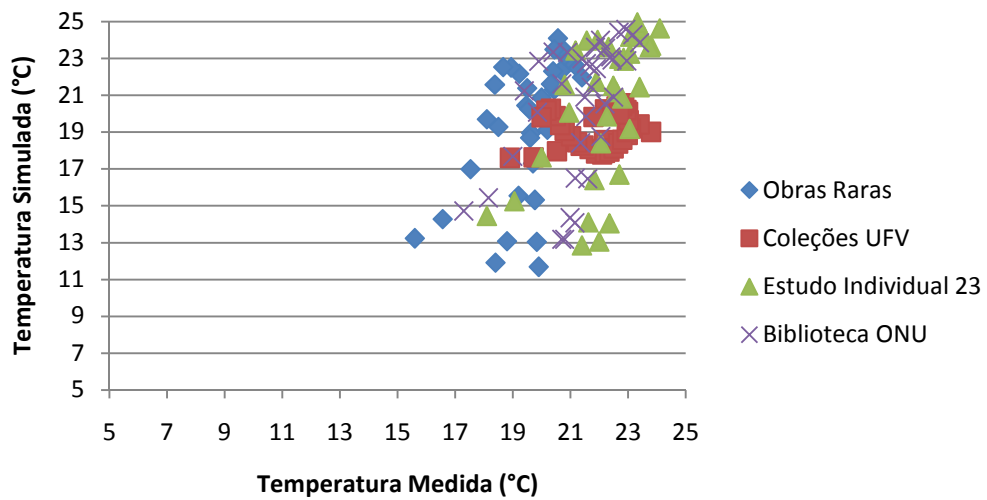


Figura M.4: Temperatura média do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no inverno para a simulação D.

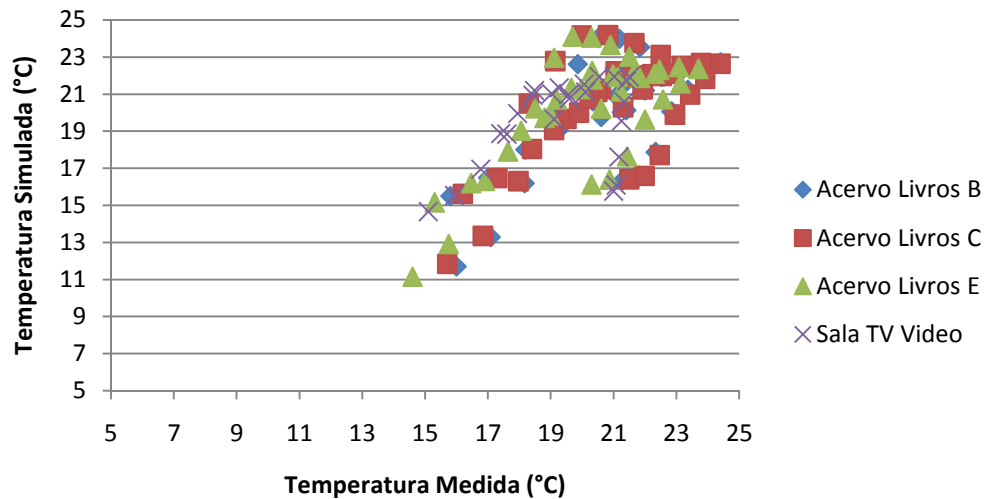


Figura M.5: Temperatura média do ar medida e simulada no segundo pavimento, no inverno para a simulação D.

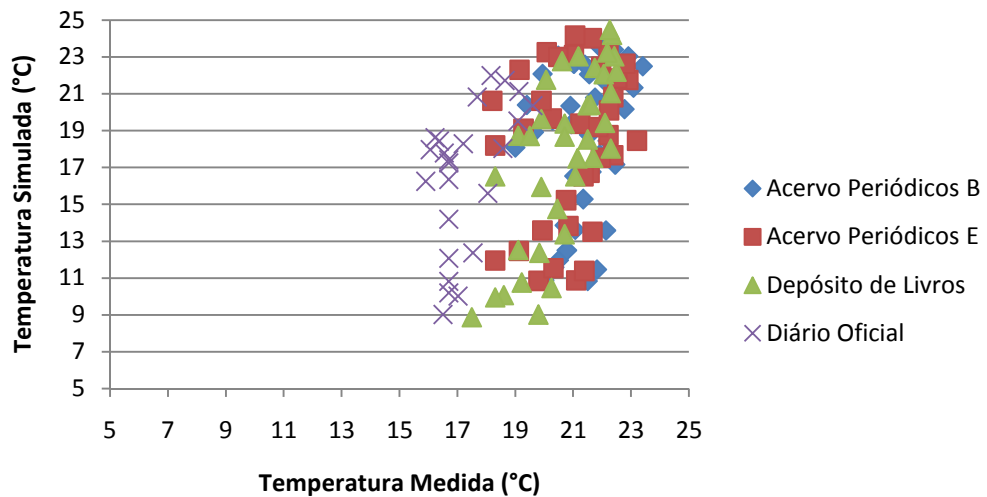


Figura M.6: Temperatura média do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no inverno para a simulação D.

APÊNDICE N – Gráficos da umidade relativa do ar da simulação D

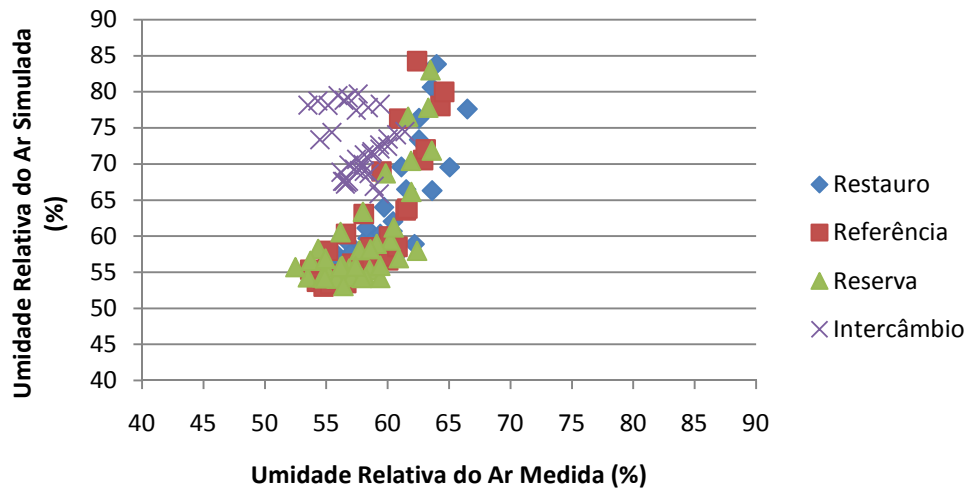


Figura N.1: Umidade relativa do ar medida e simulada no pavimento térreo, no verão para a simulação D.

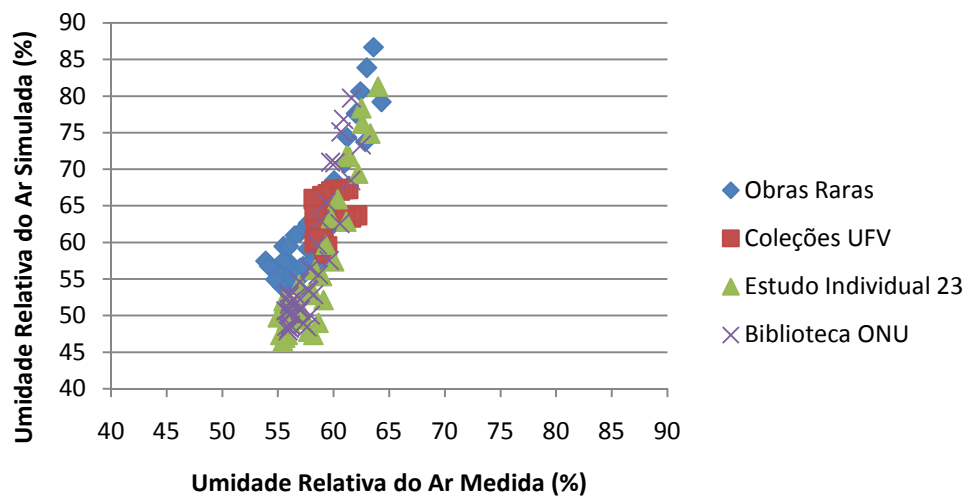


Figura N.2: Umidade relativa do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no verão para a simulação D.

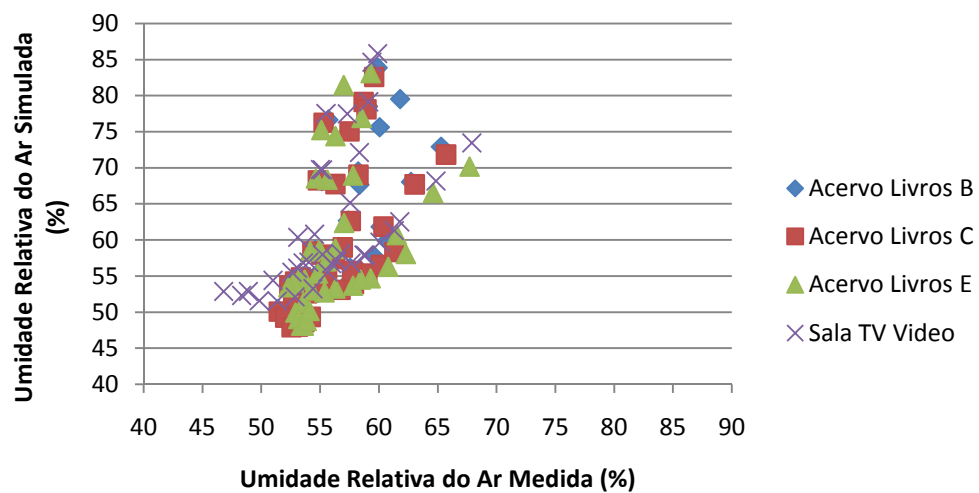


Figura N.3: Umidade relativa do ar medida e simulada no segundo pavimento, no verão para a simulação D.

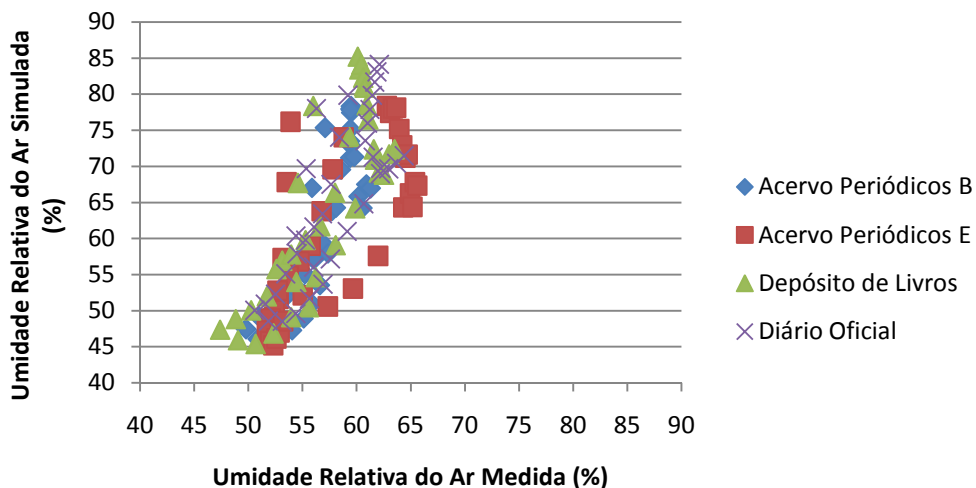


Figura N.4: Umidade relativa do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para a simulação D.

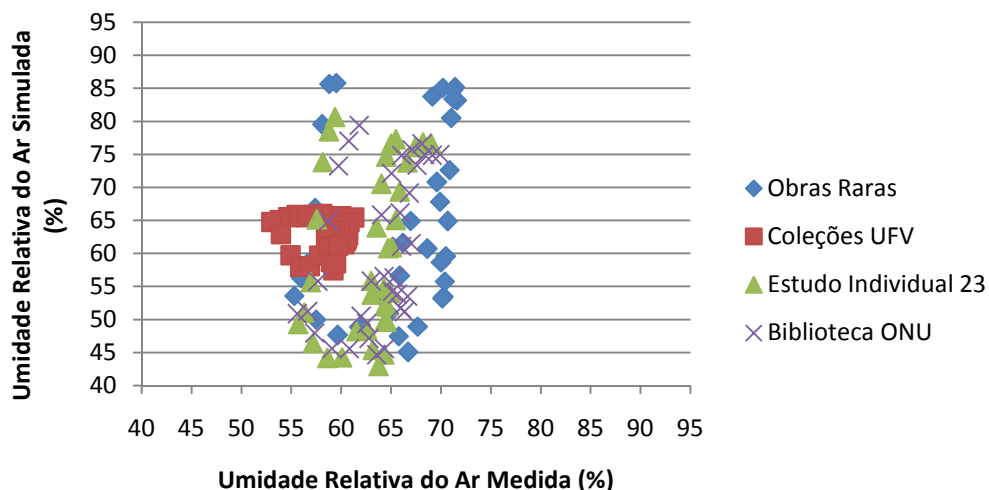


Figura N.5: Umidade relativa do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no inverno para a simulação D.

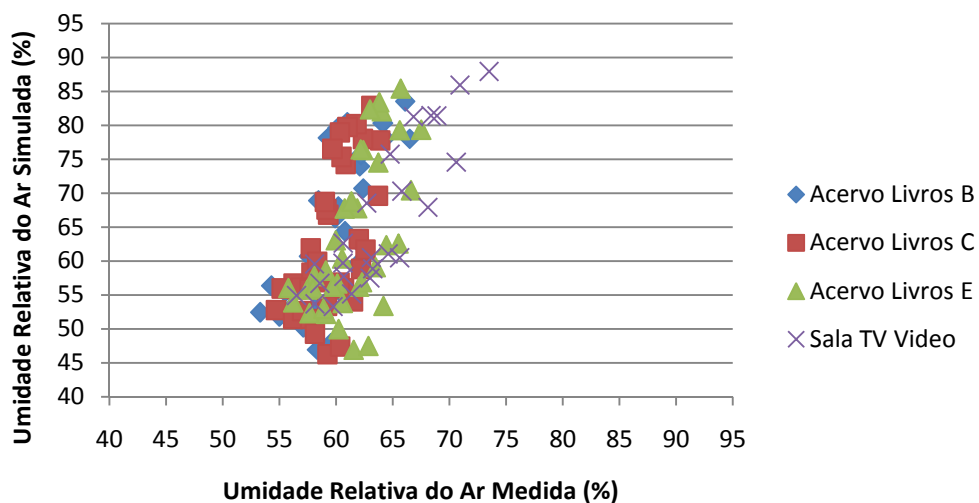


Figura N.6: Umidade relativa do ar medida e simulada no segundo pavimento, no inverno para a simulação D.

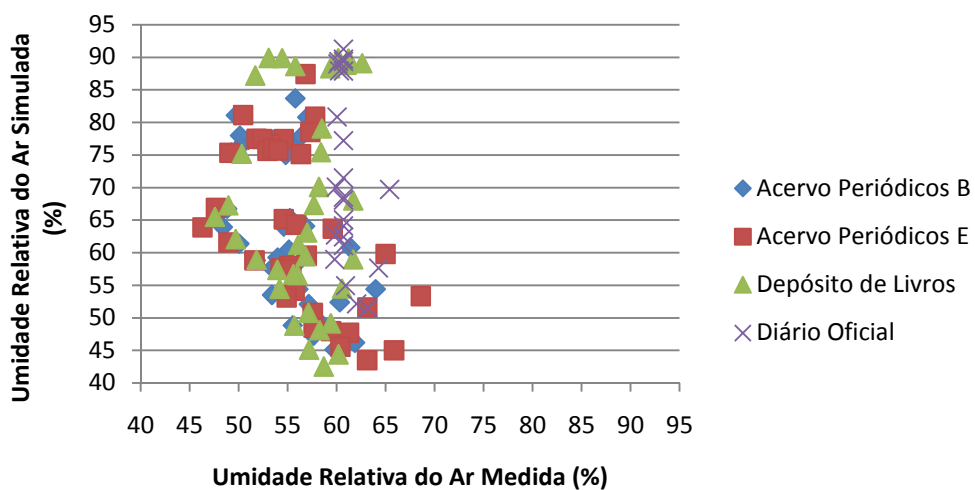


Figura N.7: Umidade relativa do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no inverno para a simulação D.

APÊNDICE O – Gráficos da temperatura média radiante da simulação D

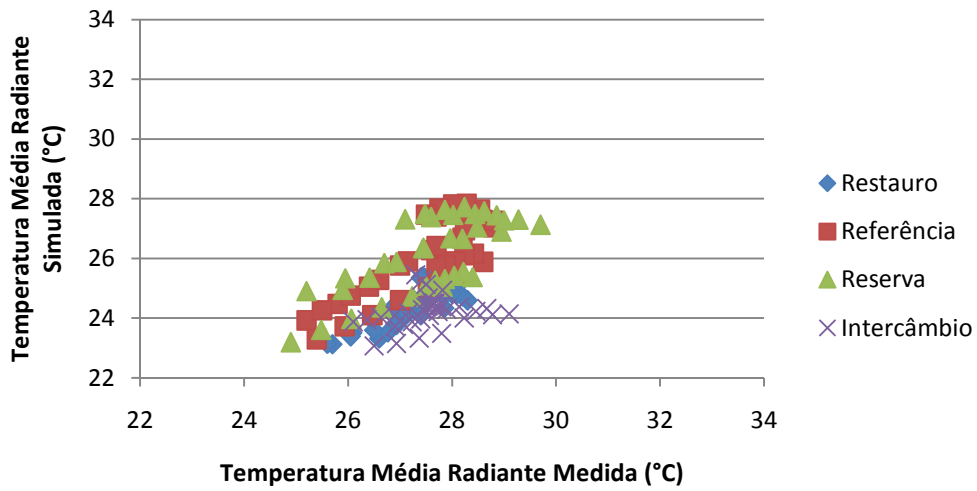


Figura O.1: Temperatura média radiante medida e simulada no pavimento térreo, no verão para a simulação D.

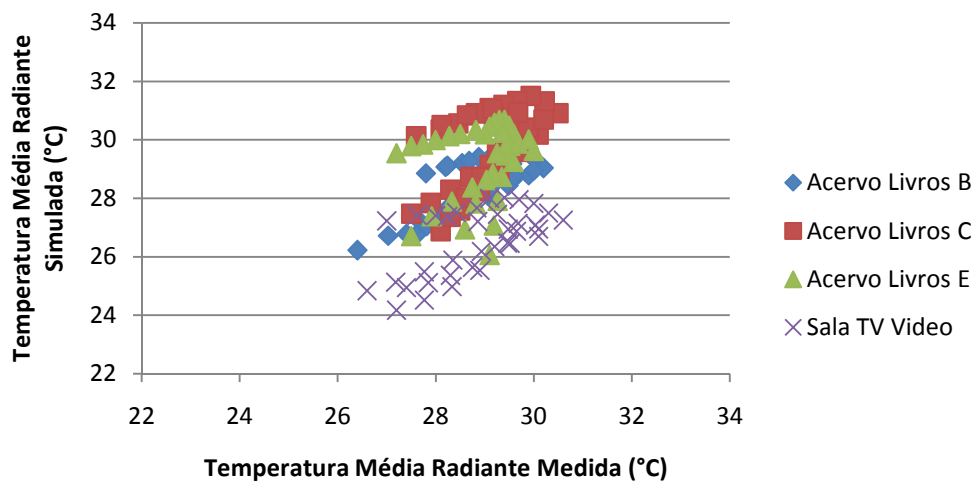


Figura O.2: Temperatura média radiante medida e simulada no segundo pavimento, no verão para a simulação D.

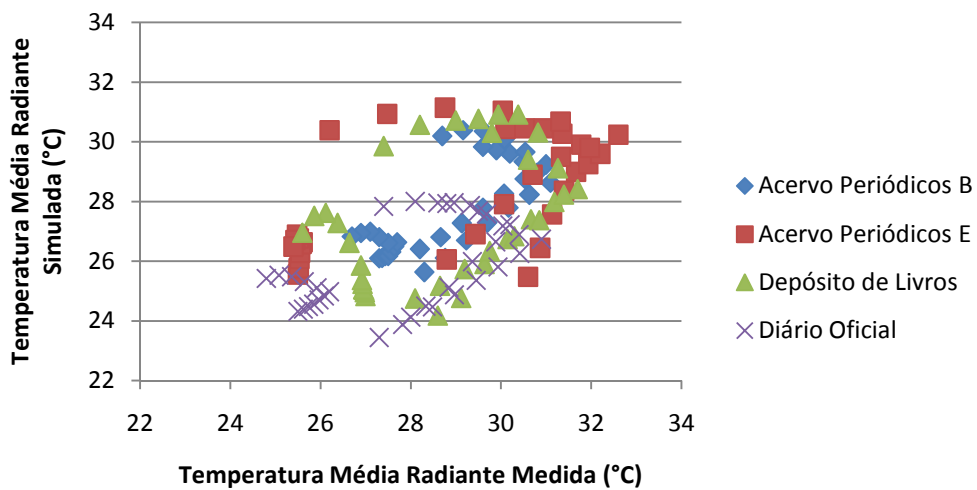


Figura O.3: Temperatura média radiante medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para a simulação D.

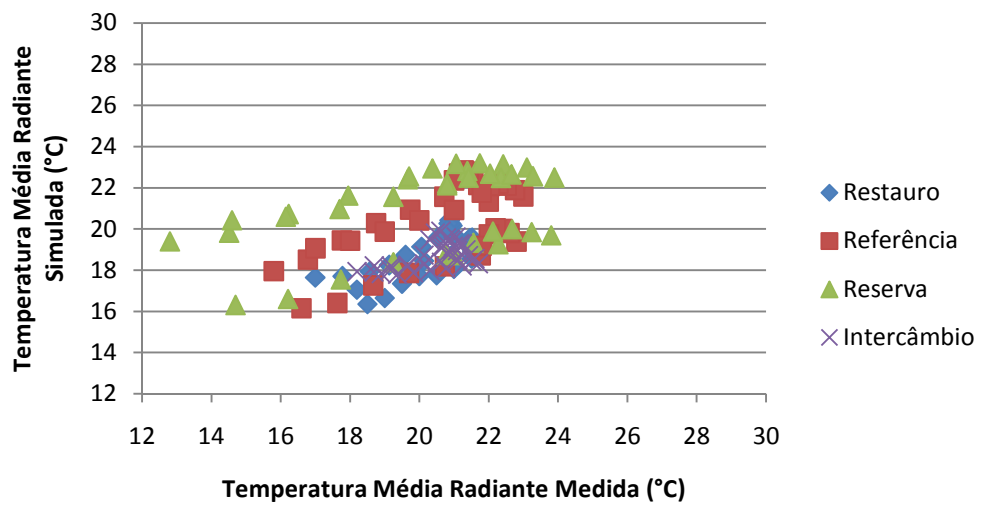


Figura O.4: Temperatura média radiante medida e simulada no pavimento térreo, no inverno para a simulação D.

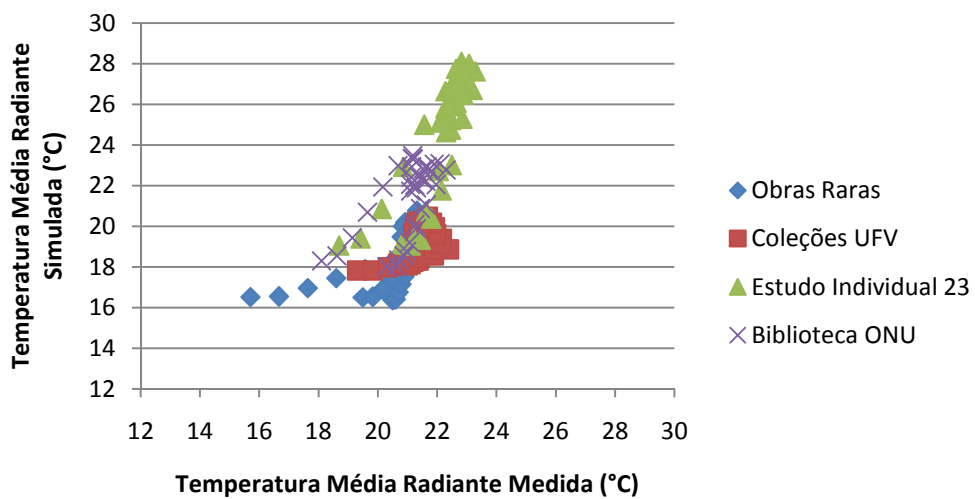


Figura O.5: Temperatura média radiante medida e simulada no primeiro pavimento, no inverno para a simulação D.

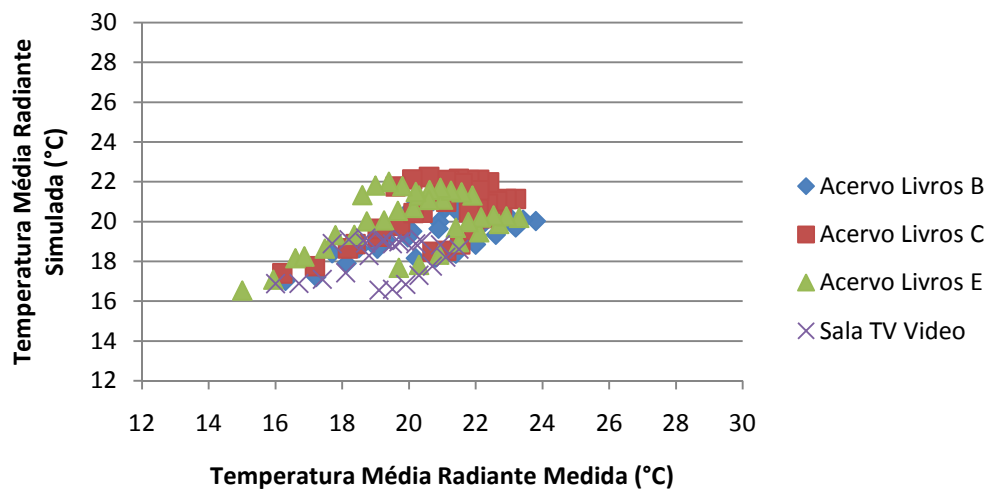


Figura O.6: Temperatura média radiante medida e simulada no segundo pavimento, no inverno para a simulação D.

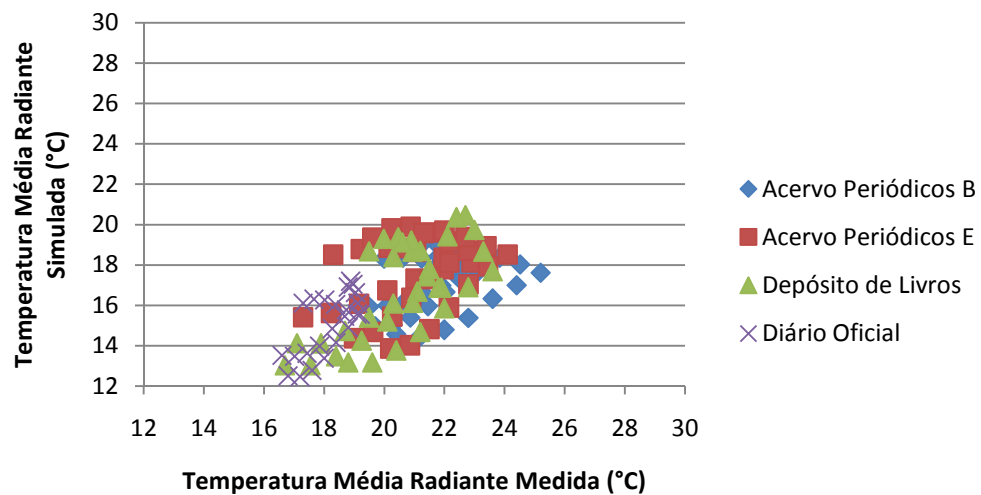


Figura O.7: Temperatura média radiante medida e simulada no terceiro pavimento, no inverno para a simulação D.

APÊNDICE P – Resultados médios dos valores medidos e simulados da simulação D

Tabela P.1: Valores médios dos dados medidos e simulados e a diferença entre eles por ambiente para o verão e inverno

Salas	Verão								
	Temperatura média do ar (°C)			Umidade Relativa (%)			Temperatura média radiante (°C)		
	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença
Restauração	26,76	26,39	0,37	59,57	62,57	-3	27,34	24,45	2,89
Referência	27,12	27,07	0,05	58,4	60,27	-1,87	27,47	26,01	1,46
Reserva	27,16	27,2	-0,04	58,12	59,74	-1,62	27,54	26,05	1,49
Intercâmbio	27,41	24,44	2,97	57,56	73,16	-15,6	27,52	24,2	3,32
Estudos 2º Grau	27,39	27,15	0,24	57,74	59,87	-2,13	27,71	25,73	1,98
Obras Raras	26,21	25,74	0,47	58,19	63,31	-5,12	26,94	25,51	1,43
Coleções da UFV	27,13	26,11	1,02	59,43	63,99	-4,56	27,17	26,1	1,07
Estudo Individual 22	27,15	27,6	-0,45	57,22	57,21	0,01	27,19	35,66	-8,47
Estudo Individual 23	26,73	27,6	-0,87	58,35	57,25	1,1	26,75	35,45	-8,7
Estudo em Grupo 20	26,06	26,44	-0,38	60,06	60,91	-0,85	26,29	26,53	-0,24
Estudo em Grupo 24	26,61	26,46	0,15	58,48	60,84	-2,36	26,58	26,63	-0,05
Biblioteca da ONU	26,75	27,46	-0,71	57,95	57,63	0,32	26,77	31,36	-4,59
Mapoteca	27,08	26,21	0,87	57,82	61,76	-3,94	27,09	25,76	1,33
Acervo Livros A	28,31	27,56	0,75	50,67	60,16	-9,49	29,12	29,27	-0,15
Acervo Livros B	28,3	27,63	0,67	56,49	59,85	-3,36	28,77	28,41	0,36
Acervo Livros C	28,35	27,73	0,62	56,34	59,49	-3,15	29,06	29,75	-0,69
Acervo Livros D	28,26	27,74	0,52	56,74	59,42	-2,68	28,63	28,44	0,19
Acervo Livros E	28,41	27,73	0,68	56,45	59,48	-3,03	28,94	29,2	-0,26
Videoteca	28,34	27,01	1,33	56,57	62	-5,43	28,79	26,47	2,32
Sala TV e Vídeo	28,54	26,98	1,56	55,91	62,03	-6,12	28,77	26,47	2,3
PS	28,55	26,99	1,56	56,3	61,98	-5,68	28,8	26,53	2,27
Coleções Braille	28,53	26,42	2,11	56,64	64,05	-7,41	28,95	27,59	1,36
Acervo Periódicos B	28,39	27,18	1,21	57,04	61,1	-4,06	28,98	27,86	1,12
Acervo Periódicos C	28,05	27,12	0,93	57,64	61,4	-3,76	28,6	28,66	-0,06
Acervo Periódicos D	27,89	27,15	0,74	58,12	61,28	-3,16	28,87	27,95	0,92
Acervo Periódicos E	27,2	27,2	0	58,53	61,08	-2,55	28,21	28,31	-0,1
Depósito de Livros	28,18	26,38	1,8	56,86	64,43	-7,57	28,76	27,4	1,36
Jornal Minas Gerais	28,02	26,08	1,94	57,72	65,33	-7,61	28,2	25,85	2,35
Diário Oficial	27,86	26,07	1,79	57,9	65,29	-7,39	27,95	25,85	2,1

Tabela P.2: Valores médios dos dados medidos e simulados e a diferença entre eles por ambiente para o verão e inverno

Ambiente	Inverno								
	Temperatura média do ar (°C)			Umidade Relativa (%)			Temperatura média radiante (°C)		
	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença
Restauração	19,24	19,4	-0,16	57,23	70,94	-13,71	20,34	18,64	1,7
Referência	20	20,06	-0,06	57,69	69,11	-11,42	20,49	20,2	0,29
Reserva	19,61	21,22	-1,61	59,56	64,88	-5,32	20,03	20,85	-0,82
Intercâmbio	21,14	18,83	2,31	54,9	70,7	-15,8	20,41	18,65	1,76
Estudos 2º Grau	20,36	20,54	-0,18	58,58	67,7	-9,12	19,9	19,67	0,23
Obras Raras	19,54	19,46	0,08	65,93	65,05	0,88	20,45	18,41	2,04
Coleções da UFV	21,86	18,91	2,95	58,53	62,8	-4,27	21,32	18,91	2,41
Estudo Individual 22	22,26	20,66	1,6	62,01	60,41	1,6	21,91	24,31	-2,4
Estudo Individual 23	22,28	20,65	1,63	62,84	60,56	2,28	22,05	24,18	-2,13
Estudo em Grupo 20	20,93	20,04	0,89	66,66	63,83	2,83	20,85	19,63	1,22
Estudo em Grupo 24	21,53	20,06	1,47	63,89	63,76	0,13	21,44	19,73	1,71
Biblioteca da ONU	21,31	20,36	0,95	63,8	61,14	2,66	21,01	21,17	-0,16
Mapoteca	20,72	19,49	1,23	64,98	64,87	0,11	20,53	17,95	2,58
Acervo Livros A	20,89	20,1	0,79	51,7	63,36	-11,66	21,08	20,19	0,89
Acervo Livros B	20,94	20,08	0,86	59,31	63,22	-3,91	20,92	19,53	1,39
Acervo Livros C	20,79	20,16	0,63	59,84	62,9	-3,06	20,91	20,49	0,42
Acervo Livros D	20,38	20,03	0,35	60,56	63,4	-2,84	20,44	41,45	-21,01
Acervo Livros E	20,03	20,03	0	61,56	63,57	-2,01	20,06	19,92	0,14
Videoteca	20,19	19,53	0,66	62,6	65,6	-3	19,86	17,91	1,95
Sala TV e Vídeo	19,36	19,43	-0,07	63,92	65,87	-1,95	19,22	17,8	1,42
PS	19,33	19,43	-0,1	63,07	65,88	-2,81	19,67	17,8	1,87
Coleções Braille	20,01	17,56	2,45	56,01	68,14	-12,13	21,93	16,74	5,19
Acervo Periódicos B	21,31	18,17	3,14	55	64,28	-9,28	21,94	17,07	4,87
Acervo Periódicos C	21,29	18,25	3,04	55,12	64,2	-9,08	21,39	17,83	3,56
Acervo Periódicos D	21,03	18,23	2,8	55,64	64,23	-8,59	21,03	17,22	3,81
Acervo Periódicos E	20,98	18,34	2,64	56,09	63,83	-7,74	21,18	17,49	3,69
Depósito de Livros	20,67	17,67	3	56,68	67,74	-11,06	20,55	16,62	3,93
Jornal de Minas Gerais	18,77	17,28	1,49	57,74	69,23	-11,49	18,81	15,34	3,47
Diário Oficial	17,29	17,17	0,12	61,02	69,54	-8,52	18,16	15,2	2,96

APÊNDICE Q – Gráficos da temperatura do ar da simulação E

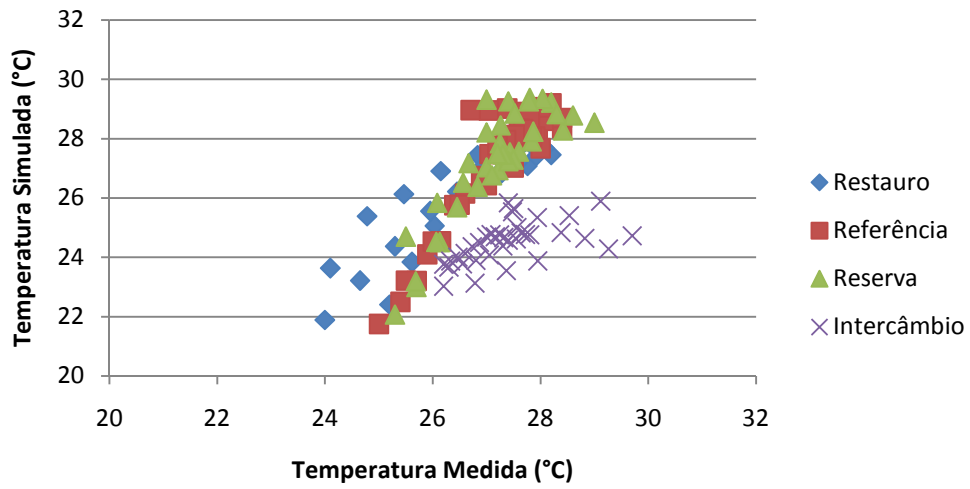


Figura Q.1: Temperatura média do ar medida e simulada no pavimento térreo, no verão para a simulação E.

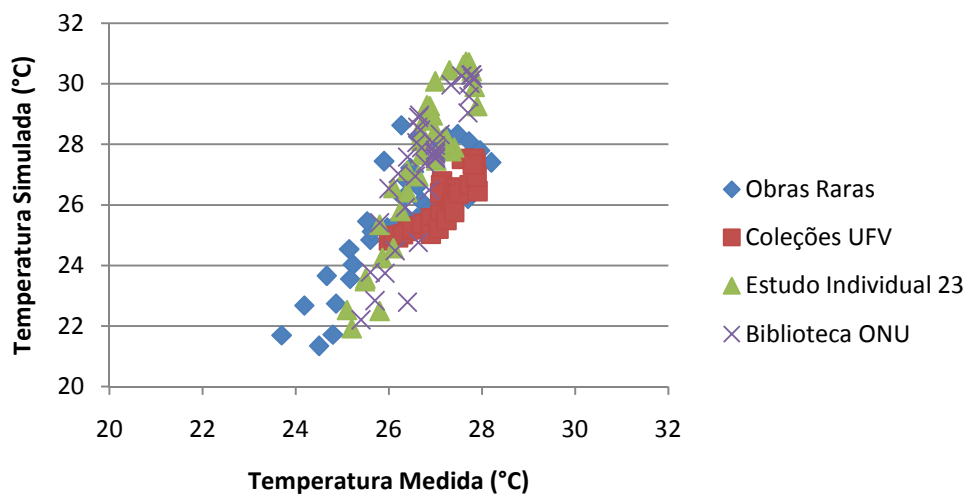


Figura Q.2: Temperatura média do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no verão para a simulação E.

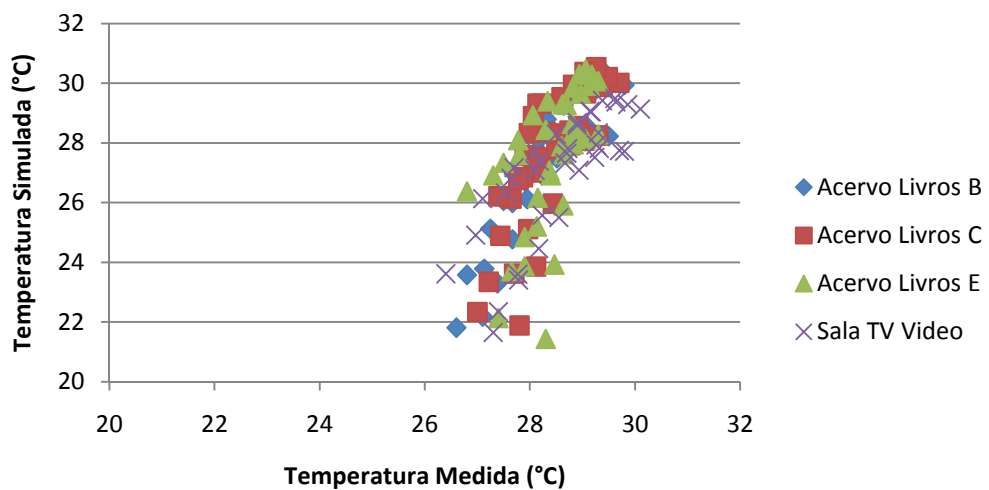


Figura Q.3: Temperatura média do ar medida e simulada no segundo pavimento, no verão para a simulação E.

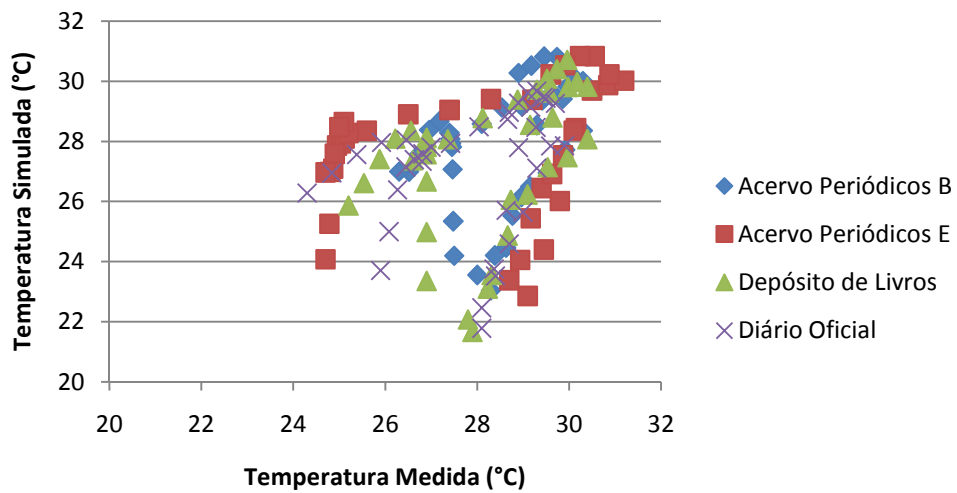


Figura Q.4: Temperatura média do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para a simulação E.

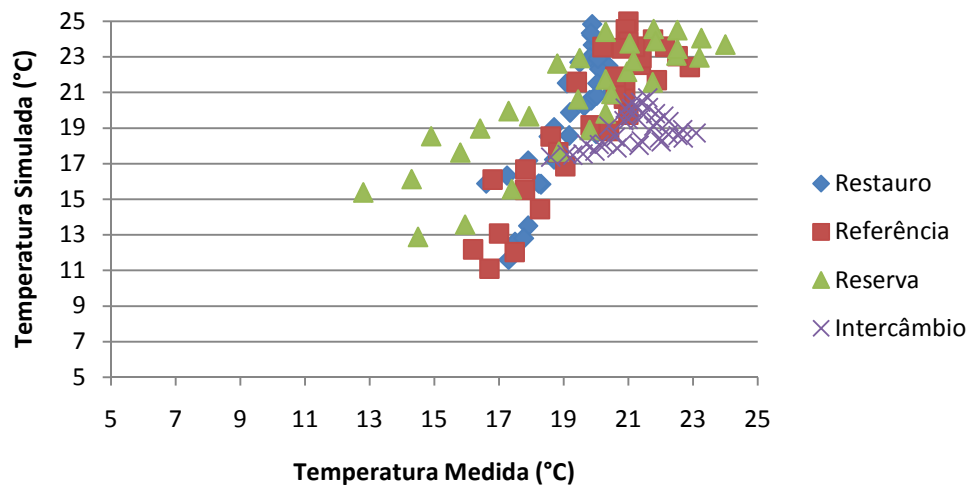


Figura Q.5: Temperatura média do ar medida e simulada no pavimento térreo, no inverno para a simulação E.

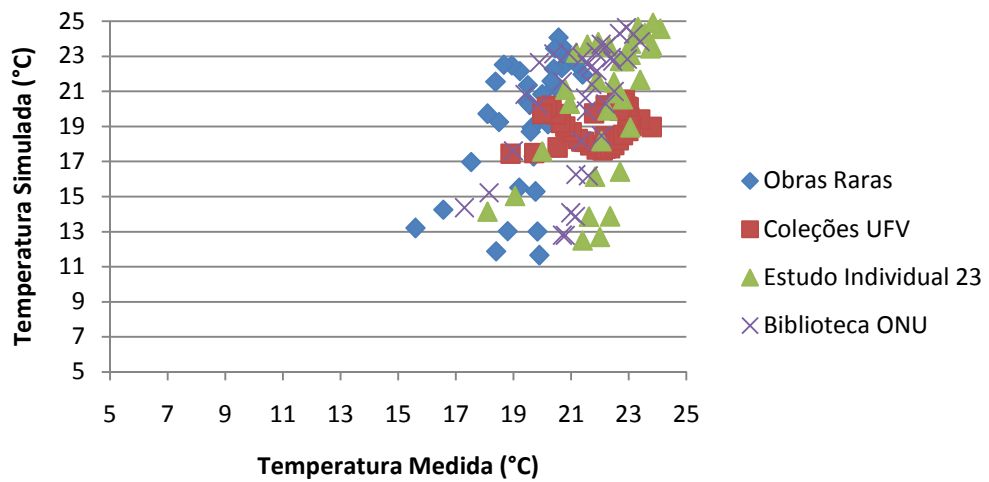


Figura Q.6: Temperatura média do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no inverno para a simulação E.

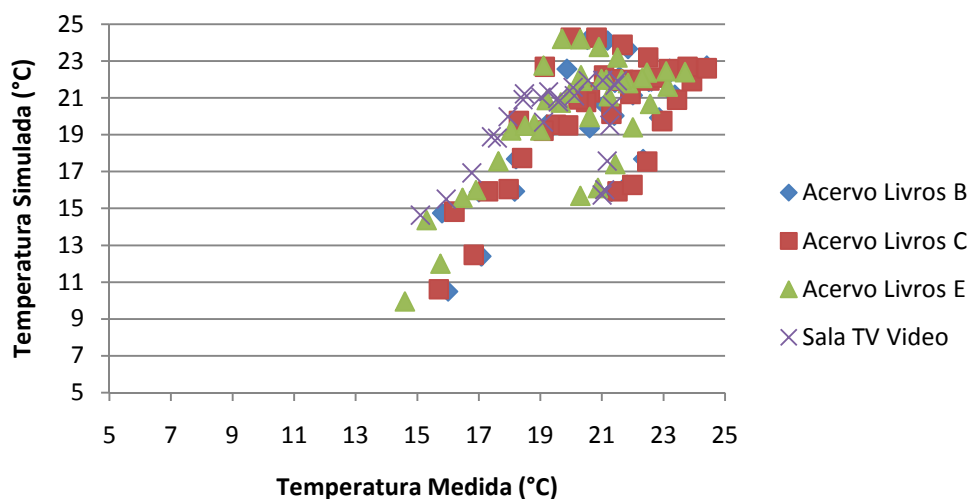


Figura Q.7: Temperatura média do ar medida e simulada no segundo pavimento, no inverno para a simulação E.

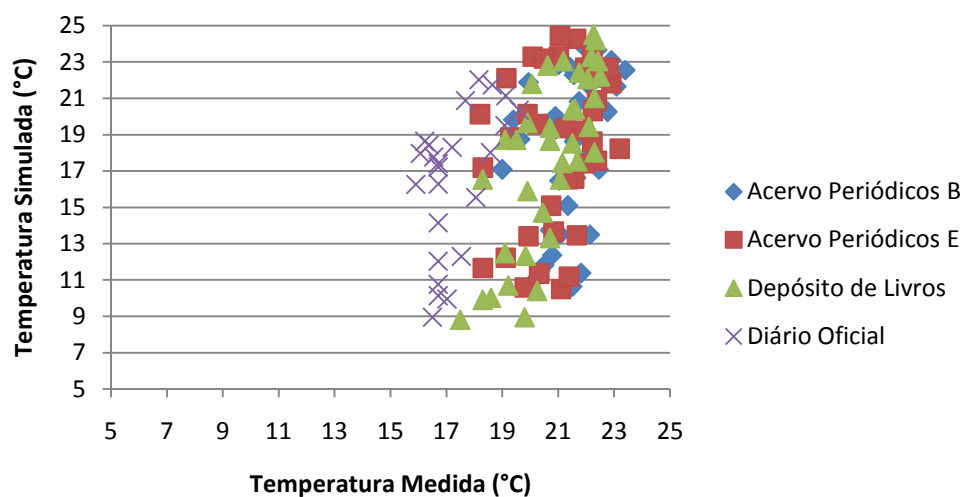


Figura Q.8: Temperatura média do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no inverno para a simulação E.

APÊNDICE R – Gráficos da umidade relativa do ar da simulação E

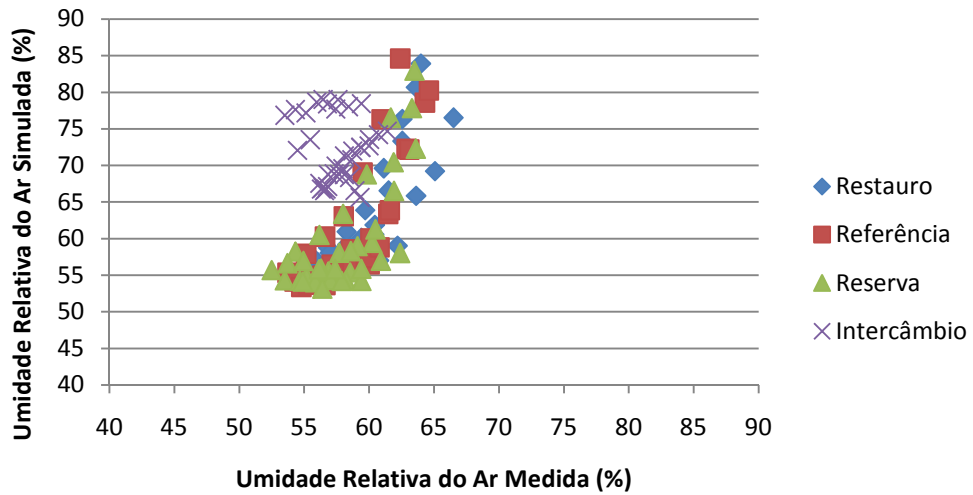


Figura R.1: Umidade relativa do ar medida e simulada no pavimento térreo, no verão para a simulação E.

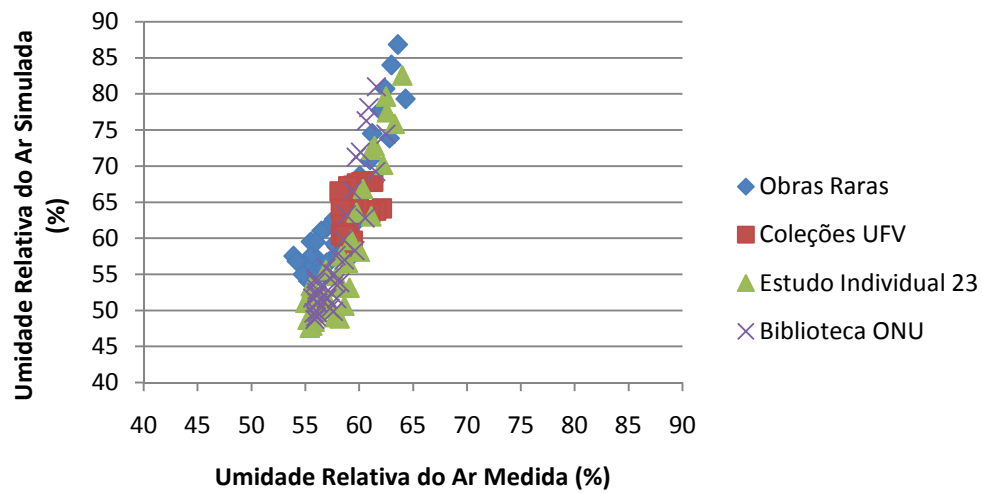


Figura R.2: Umidade relativa do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no verão para a simulação E.

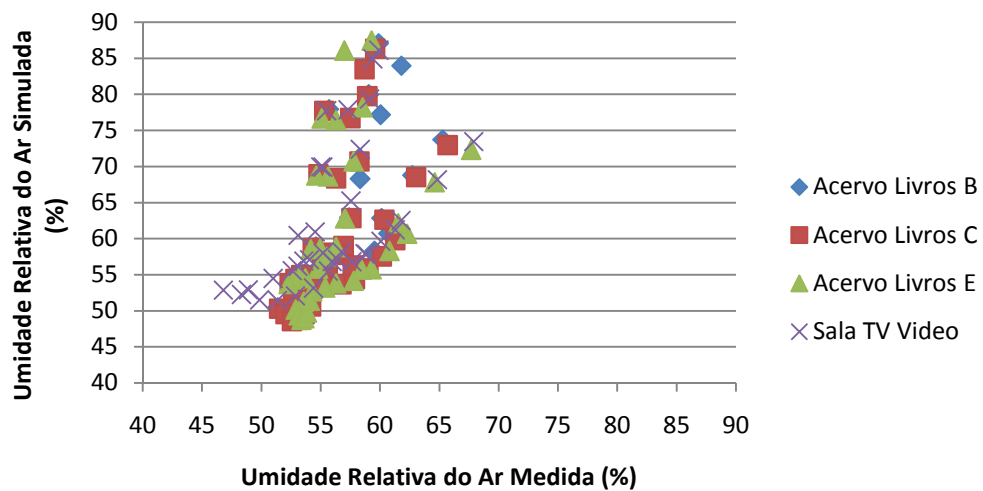


Figura R.3: Umidade relativa do ar medida e simulada no segundo pavimento, no verão para a simulação E.

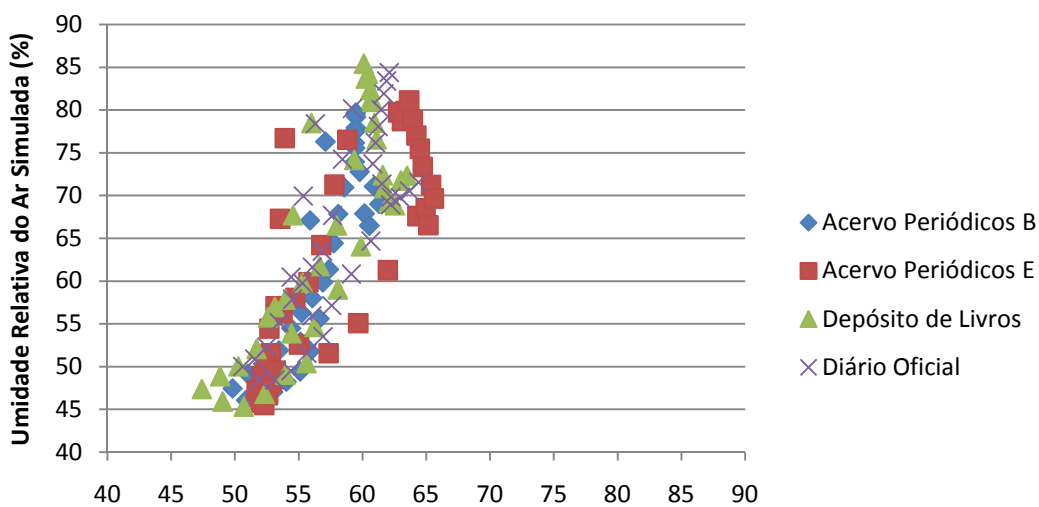


Figura R.4: Umidade relativa do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para a simulação E.

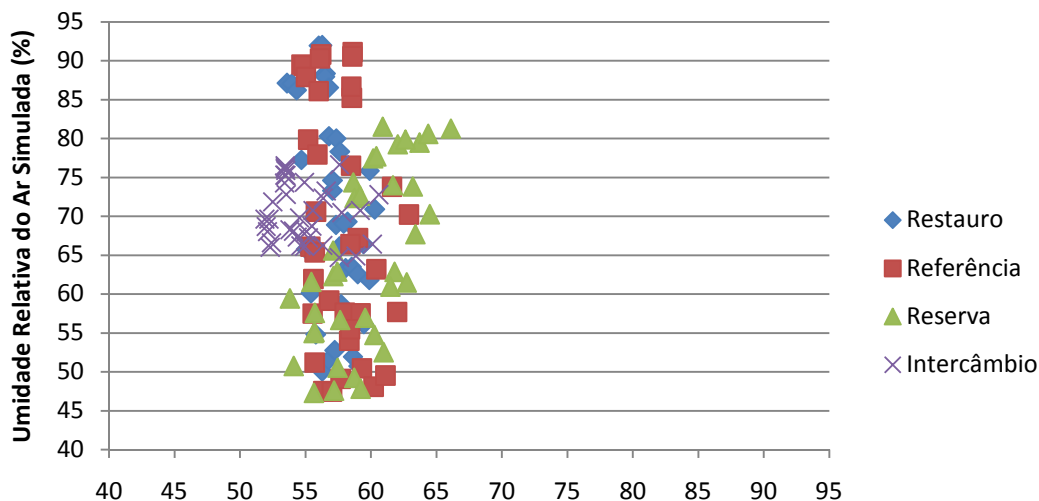


Figura R.5: Umidade relativa do ar medida e simulada no pavimento térreo, no inverno para a simulação E.

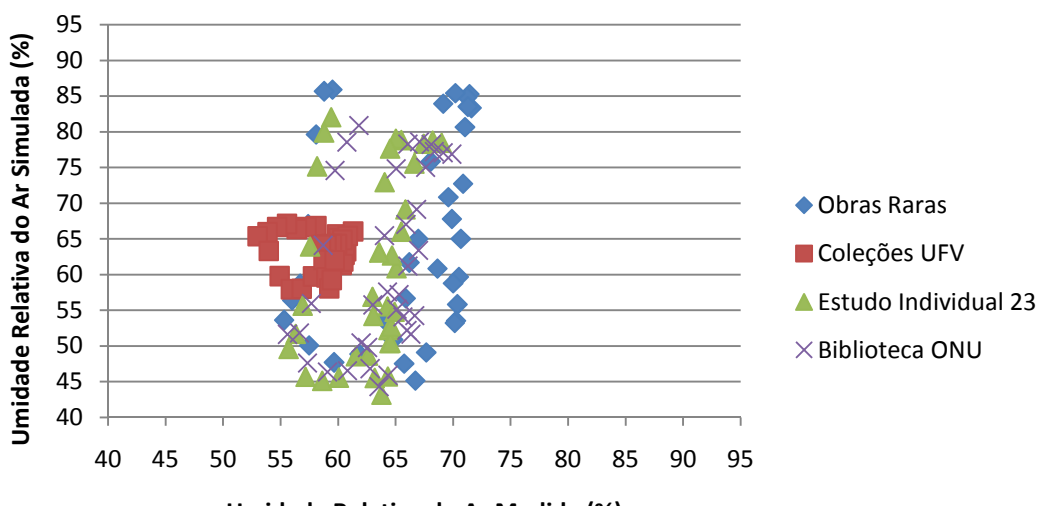


Figura R.6: Umidade relativa do ar medida e simulada no primeiro pavimento, no inverno para a simulação E.

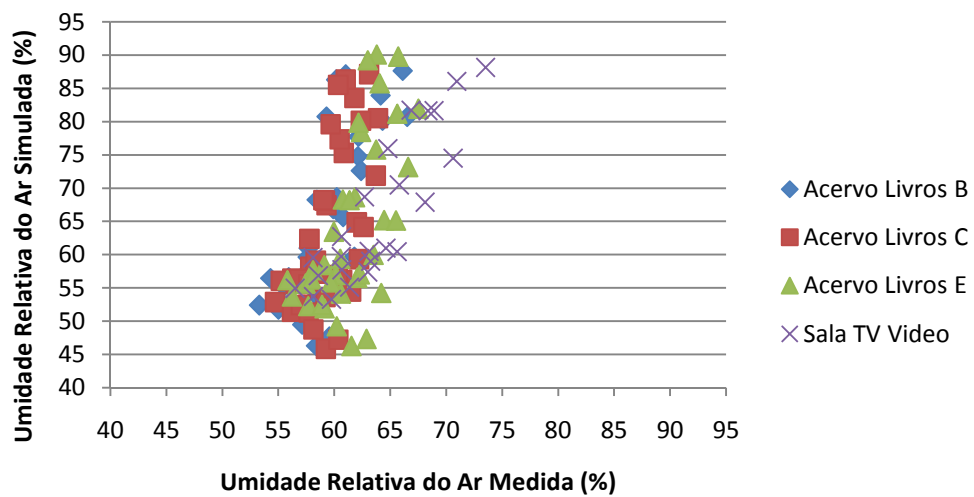


Figura R.7: Umidade relativa do ar medida e simulada no segundo pavimento, no inverno para a simulação E.

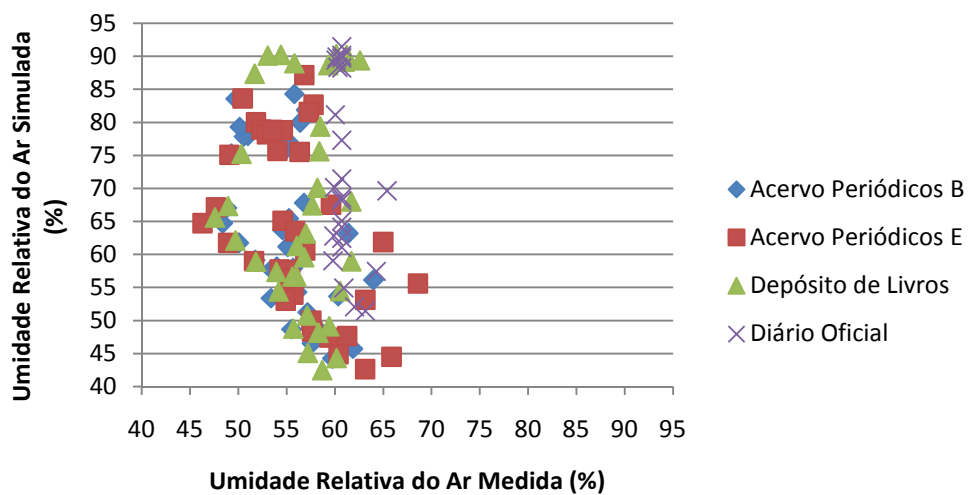


Figura R.8: Umidade relativa do ar medida e simulada no terceiro pavimento, no inverno para a simulação E.

APÊNDICE S – Gráficos da temperatura média radiante da simulação E

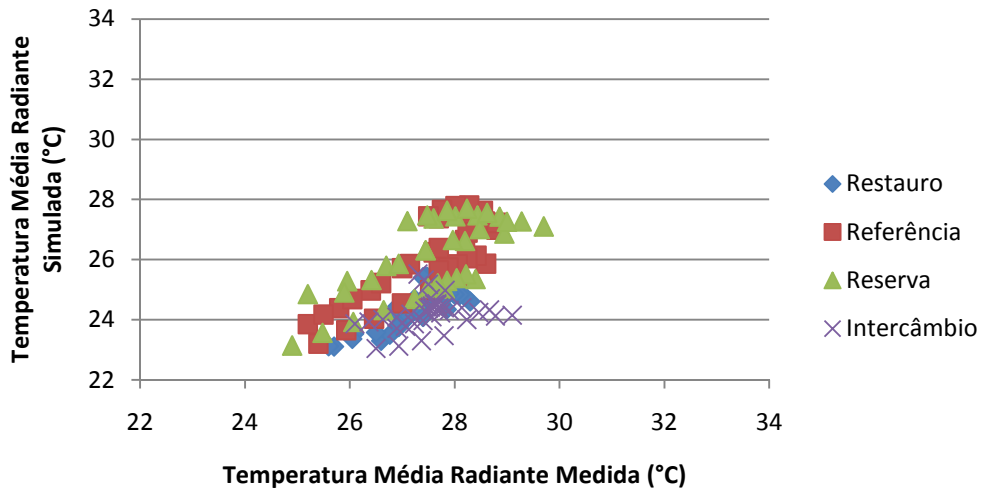


Figura S.1: Temperatura média radiante medida e simulada no pavimento térreo, no verão para a simulação E.

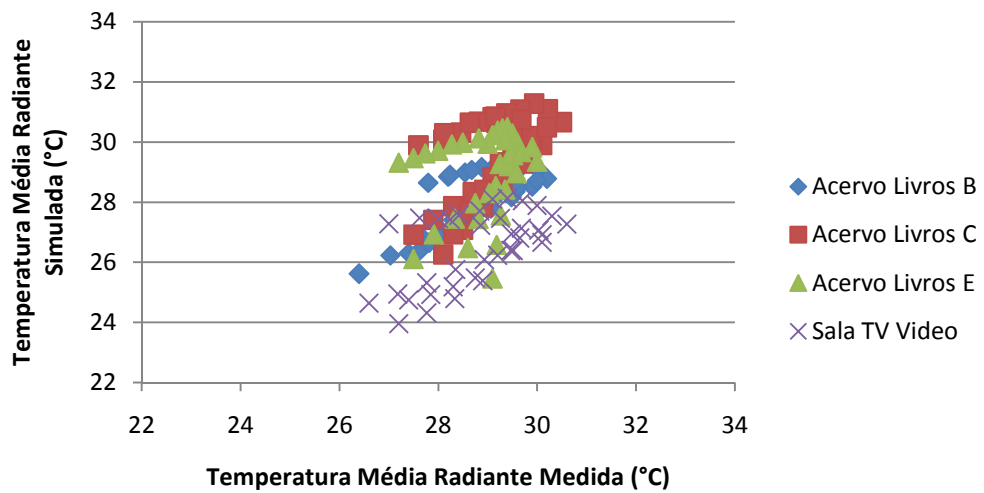


Figura S.2: Temperatura média radiante medida e simulada no segundo pavimento, no verão para a simulação E.

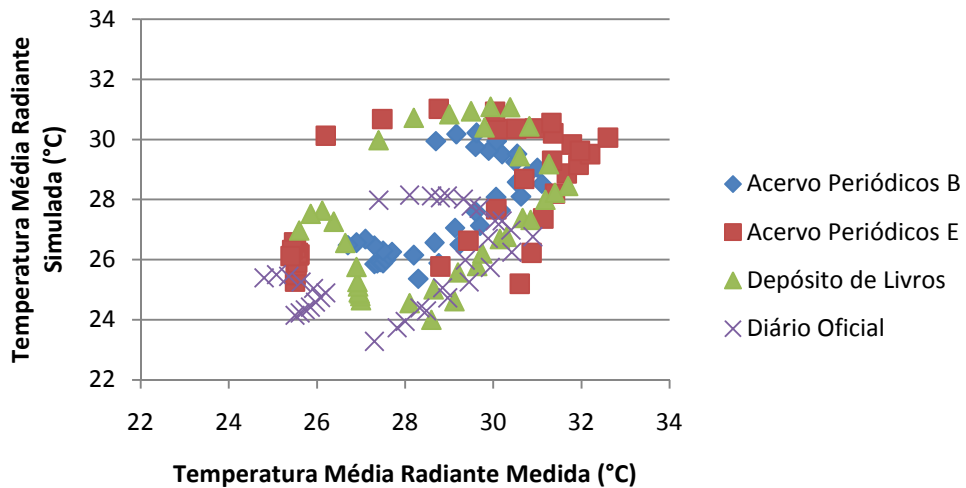


Figura S.3: Temperatura média radiante medida e simulada no terceiro pavimento, no verão para a simulação E.

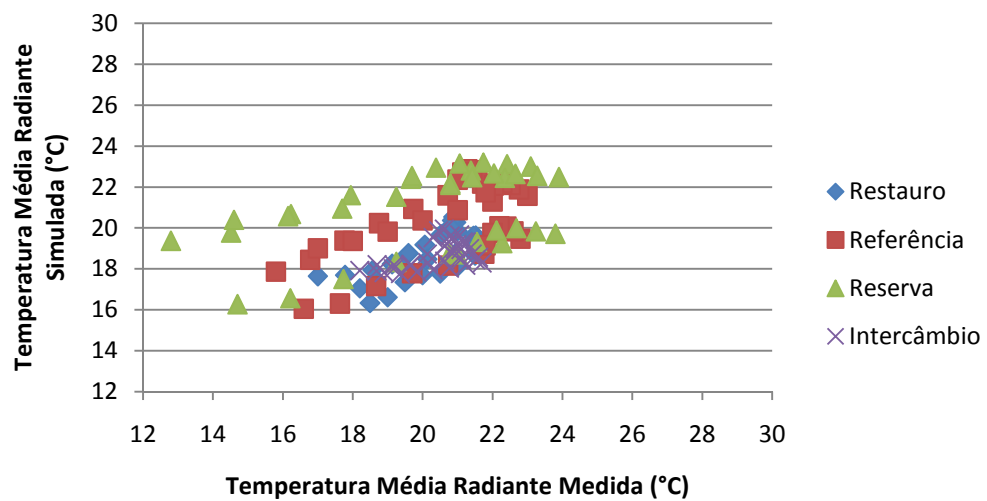


Figura S.4: Temperatura média radiante medida e simulada no pavimento térreo, no inverno para a simulação E.

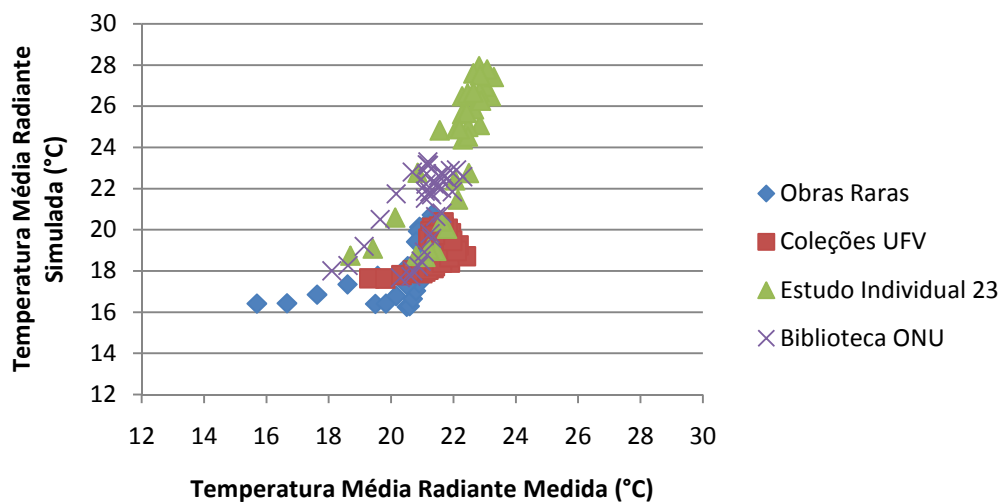


Figura S.5: Temperatura média radiante medida e simulada no primeiro pavimento, no inverno para a simulação E.

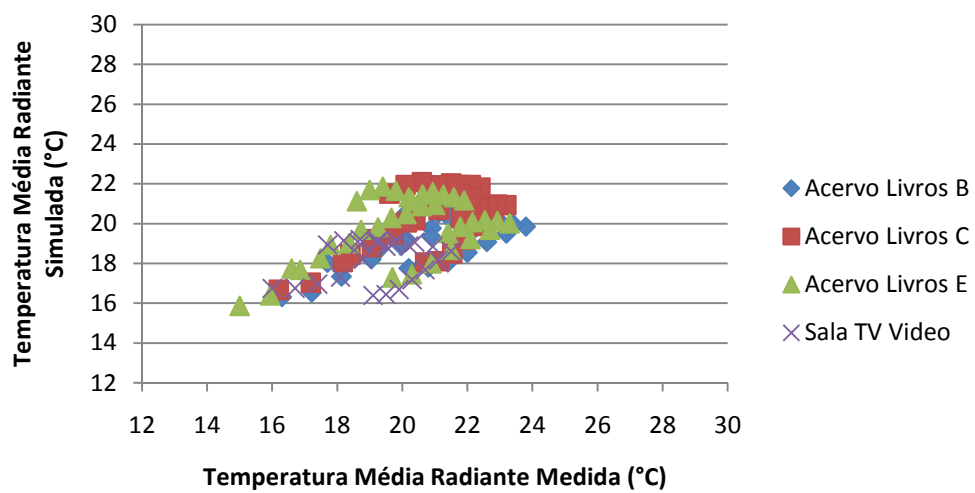


Figura S.6: Temperatura média radiante medida e simulada no segundo pavimento, no inverno para a simulação E.

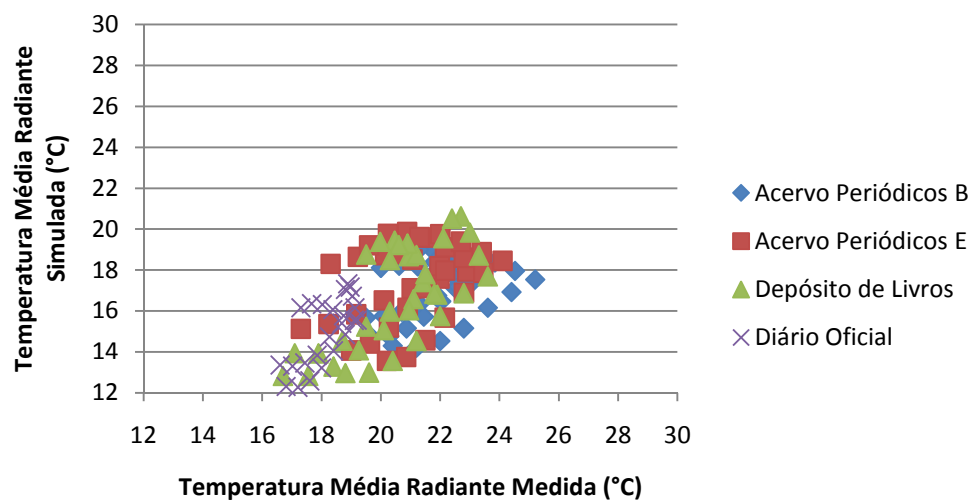


Figura S.7: Temperatura média radiante medida e simulada no terceiro pavimento, no inverno para a simulação E.

APÊNDICE T – Resultados médios dos valores medidos e simulados da simulação E

Tabela T.1: Valores médios dos dados medidos e simulados e a diferença entre eles por ambiente para o verão

Salas	Verão								
	Temperatura média do ar (°C)			Umidade Relativa (%)			Temperatura média radiante (°C)		
	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença
Restauração	26,76	26,42	0,34	59,57	62,46	-2,89	27,34	24,47	2,87
Referência	27,12	27,02	0,1	58,4	60,39	-1,99	27,47	25,97	1,5
Reserva	27,16	27,2	-0,04	58,12	59,76	-1,64	27,54	26,03	1,51
Intercâmbio	27,41	24,46	2,95	57,56	72,93	-15,37	27,52	24,21	3,31
Estudos 2º Grau	27,39	27,14	0,25	57,74	59,91	-2,17	27,71	25,71	2
Obras Raras	26,21	25,72	0,49	58,19	63,37	-5,18	26,94	25,44	1,5
Coleções da UFV	27,13	26	1,13	59,43	64,28	-4,85	27,17	25,97	1,2
Estudo Individual 22	27,15	27,3	-0,15	57,22	58,13	-0,91	27,19	35,34	-8,15
Estudo Individual 23	26,73	27,29	-0,56	58,35	58,19	0,16	26,75	35,13	-8,38
Estudo em Grupo 20	26,06	26,39	-0,33	60,06	61,04	-0,98	26,29	26,43	-0,14
Estudo em Grupo 24	26,61	26,41	0,2	58,48	60,98	-2,5	26,58	26,53	0,05
Biblioteca da ONU	26,75	27,18	-0,43	57,95	58,48	-0,53	26,77	26,85	-0,08
Mapoteca	27,08	26,2	0,88	57,82	61,81	-3,99	27,09	31,1	-4,01
Acervo Livros A	28,31	27,35	0,96	50,67	60,96	-10,29	29,12	29,05	0,07
Acervo Livros B	28,3	27,41	0,89	56,49	60,69	-4,2	28,77	28,11	0,66
Acervo Livros C	28,35	27,48	0,87	56,34	60,41	-4,07	29,06	29,45	-0,39
Acervo Livros D	28,26	27,47	0,79	56,74	60,43	-3,69	28,63	28,11	0,52
Acervo Livros E	28,41	27,46	0,95	56,45	60,52	-4,07	28,94	28,93	0,01
Videoteca	28,34	27	1,34	56,57	62,04	-5,47	28,79	26,43	2,36
Sala TV e Vídeo	28,54	26,97	1,57	55,91	62,09	-6,18	28,77	26,42	2,35
PS	28,55	26,98	1,57	56,3	62,05	-5,75	28,8	26,48	2,32
Coleções Braille	28,53	26,42	2,11	56,64	64,08	-7,44	28,95	27,56	1,39
Acervo Periódicos B	28,39	26,88	1,51	57,04	62,28	-5,24	28,98	27,66	1,32
Acervo Periódicos C	28,05	26,81	1,24	57,64	62,65	-5,01	28,6	28,45	0,15
Acervo Periódicos D	27,89	26,86	1,03	58,12	62,41	-4,29	28,87	27,74	1,13
Acervo Periódicos E	27,2	26,84	0,36	58,53	62,54	-4,01	28,21	28,09	0,12
Depósito de Livros	28,18	26,37	1,81	56,86	64,46	-7,6	28,76	27,37	1,39
Jornal Minas Gerais	28,02	26,08	1,94	57,72	65,35	-7,63	28,2	25,85	2,35
Diário Oficial	27,86	26,06	1,8	57,9	65,33	-7,43	27,95	25,83	2,12

Tabela T.2: Valores médios dos dados medidos e simulados e a diferença entre eles por ambiente, para o inverno

Salas	Inverno								
	Temperatura média do ar (°C)			Umidade Relativa (%)			Temperatura média radiante (°C)		
	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença
Restauração	19,24	19,45	-0,21	57,23	70,88	-13,65	20,34	18,66	1,68
Referência	20	20,09	-0,09	57,69	69,35	-11,66	20,49	20,18	0,31
Reserva	19,61	21,22	-1,61	59,56	64,93	-5,37	20,03	20,83	-0,8
Intercâmbio	21,14	18,83	2,31	54,9	70,97	-16,07	20,41	19,65	0,76
Estudos 2º Grau	20,36	20,54	-0,18	58,58	67,76	-9,18	19,9	19,65	0,25
Obras Raras	19,54	19,44	0,1	65,93	65,13	0,8	20,45	18,34	2,11
Coleções da UFV	21,86	18,8	3,06	58,53	63,32	-4,79	21,32	18,78	2,54
Estudo Individual 22	22,26	20,51	1,75	62,01	61,13	0,88	21,91	24,09	-2,18
Estudo Individual 23	22,28	20,5	1,78	62,84	61,36	1,48	22,05	23,95	-1,9
Estudo em Grupo 20	20,93	20,03	0,9	66,66	63,87	2,79	20,85	19,55	1,3
Estudo em Grupo 24	21,53	20,05	1,48	63,89	63,79	0,1	21,44	19,64	1,8
Biblioteca da ONU	21,31	20,21	1,1	63,8	61,97	1,83	21,01	20,96	0,05
Mapoteca	20,72	19,48	1,24	64,98	64,93	0,05	20,53	17,91	2,62
Acervo Livros A	20,89	19,92	0,97	51,7	64,34	-12,64	21,08	19,98	1,1
Acervo Livros B	20,94	19,91	1,03	59,31	64,18	-4,87	20,92	19,28	1,64
Acervo Livros C	20,79	19,99	0,8	59,84	63,83	-3,99	20,91	20,23	0,68
Acervo Livros D	20,38	19,85	0,53	60,56	64,38	-3,82	20,44	19,25	1,19
Acervo Livros E	20,03	19,84	0,19	61,56	64,62	-3,06	20,06	19,7	0,36
Videoteca	20,19	19,52	0,67	62,6	65,65	-3,05	19,86	17,88	1,98
Sala TV e Vídeo	19,36	19,42	-0,06	63,92	65,95	-2,03	19,22	17,76	1,46
PS	19,33	19,42	-0,09	63,07	65,96	-2,89	19,67	17,76	1,91
Coleções Braille	20,01	17,55	2,46	56,01	68,21	-12,2	21,93	16,69	5,24
Acervo Periódicos B	21,31	18,05	3,26	55	64,92	-9,92	21,94	16,9	5,04
Acervo Periódicos C	21,29	18,12	3,17	55,12	64,89	-9,77	21,39	17,65	3,74
Acervo Periódicos D	21,03	18,12	2,91	55,64	64,85	-9,21	21,03	17,04	3,99
Acervo Periódicos E	20,98	18,19	2,79	56,09	64,74	-8,65	21,18	17,31	3,87
Depósito de Livros	20,67	17,66	3,01	56,68	67,8	-11,12	20,55	16,58	3,97
Jornal de Minas Gerais	18,77	17,27	1,5	57,74	69,29	-11,55	18,81	15,33	3,48
Diário Oficial	17,29	17,16	0,13	61,02	69,6	-8,58	18,16	15,17	2,99

APÊNDICE U – Resultados médios dos valores medidos e simulados da simulação F

Tabela U.1: Valores médios dos dados medidos e simulados e a diferença entre eles por ambiente, no verão

Verão									
Salas	Temperatura média do ar (°C)			Umidade Relativa (%)			Temperatura média radiante (°C)		
	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença
Restauração	26,76	26,42	0,34	59,57	62,46	-2,89	27,34	24,47	2,87
Referência	27,12	27,01	0,11	58,4	60,39	-1,99	27,47	25,97	1,5
Reserva	27,16	27,2	-0,04	58,12	59,76	-1,64	27,54	26,03	1,51
Intercâmbio	27,41	24,59	2,82	57,56	72,93	-15,37	27,52	24,21	3,31
Estudos 2º Grau	27,39	27,15	0,24	57,74	59,91	-2,17	27,71	25,71	2
Obras Raras	26,21	25,74	0,47	58,19	63,37	-5,18	26,94	25,44	1,5
Coleções da UFV	27,13	26,05	1,08	59,43	64,28	-4,85	27,17	25,97	1,2
Estudo Individual 22	27,15	31,01	-3,86	57,22	58,13	-0,91	27,19	35,34	-8,15
Estudo Individual 23	26,73	30,81	-4,08	58,35	58,19	0,16	26,75	35,13	-8,38
Estudo em Grupo 20	26,06	26,45	-0,39	60,06	61,04	-0,98	26,29	26,43	-0,14
Estudo em Grupo 24	26,61	26,47	0,14	58,48	60,98	-2,5	26,58	26,53	0,05
Biblioteca da ONU	26,75	27,23	-0,48	57,95	58,48	-0,53	26,77	26,85	-0,08
Mapoteca	27,08	26,21	0,87	57,82	61,81	-3,99	27,09	31,1	-4,01
Acervo Livros A	28,31	27,35	0,96	50,67	60,96	-10,29	29,12	29,05	0,07
Acervo Livros B	28,3	27,41	0,89	56,49	60,69	-4,2	28,77	28,11	0,66
Acervo Livros C	28,35	27,48	0,87	56,34	60,41	-4,07	29,06	29,45	-0,39
Acervo Livros D	28,26	27,47	0,79	56,74	60,43	-3,69	28,63	28,11	0,52
Acervo Livros E	28,41	27,46	0,95	56,45	60,52	-4,07	28,94	28,93	0,01
Videoteca	28,34	27	1,34	56,57	62,04	-5,47	28,79	26,43	2,36
Sala TV e Vídeo	28,54	26,97	1,57	55,91	62,09	-6,18	28,77	26,42	2,35
PS	28,55	26,98	1,57	56,3	60,05	-3,75	28,8	26,48	2,32
Coleções Braille	28,53	26,42	2,11	56,64	64,08	-7,44	28,95	27,56	1,39
Acervo Periódicos B	28,39	26,88	1,51	57,04	62,28	-5,24	28,98	27,66	1,32
Acervo Periódicos C	28,05	26,81	1,24	57,64	62,65	-5,01	28,6	28,45	0,15
Acervo Periódicos D	27,89	26,86	1,03	58,12	62,41	-4,29	28,87	27,74	1,13
Acervo Periódicos E	27,2	26,84	0,36	58,53	62,54	-4,01	28,21	28,09	0,12
Depósito de Livros	28,18	26,37	1,81	56,86	64,46	-7,6	28,76	27,37	1,39
Jornal de Minas Gerais	28,02	26,08	1,94	57,72	65,35	-7,63	28,2	25,85	2,35
Diário Oficial	27,86	26,06	1,8	57,9	65,33	-7,43	27,95	25,83	2,12

Tabela U.2: Valores médios dos dados medidos e simulados e a diferença entre eles por ambiente, no inverno.

Inverno									
Salas	Temperatura média do ar (°C)			Umidade Relativa (%)			Temperatura média radiante (°C)		
	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença	Medido	Simulado	Diferença
Restauração	19,24	19,45	-0,21	57,23	70,88	-13,65	20,34	18,66	1,68
Referência	20	20,09	-0,09	57,69	69,35	-11,66	20,49	20,18	0,31
Reserva	19,61	21,22	-1,61	59,56	64,93	-5,37	20,03	20,83	-0,8
Intercâmbio	21,14	18,83	2,31	54,9	70,97	-16,07	20,41	19,65	0,76
Estudos 2º Grau	20,36	20,54	-0,18	58,58	67,76	-9,18	19,9	19,65	0,25
Obras Raras	19,54	19,44	0,1	65,93	65,13	0,8	20,45	18,34	2,11
Coleções da UFV	21,86	18,8	3,06	58,53	63,32	-4,79	21,32	18,78	2,54
Estudo Individual 22	22,26	20,51	1,75	62,01	61,13	0,88	21,91	24,09	-2,18
Estudo Individual 23	22,28	20,5	1,78	62,84	61,36	1,48	22,05	23,95	-1,9
Estudo em Grupo 20	20,93	20,03	0,9	66,66	63,87	2,79	20,85	19,55	1,3
Estudo em Grupo 24	21,53	20,05	1,48	63,89	63,79	0,1	21,44	19,64	1,8
Biblioteca da ONU	21,31	20,21	1,1	63,8	61,97	1,83	21,01	20,96	0,05
Mapoteca	20,72	19,49	1,23	64,98	64,93	0,05	20,53	17,91	2,62
Acervo Livros A	20,89	19,92	0,97	51,7	64,34	-12,64	21,08	19,98	1,1
Acervo Livros B	20,94	19,91	1,03	59,31	64,18	-4,87	20,92	19,28	1,64
Acervo Livros C	20,79	19,99	0,8	59,84	63,83	-3,99	20,91	20,23	0,68
Acervo Livros D	20,38	19,85	0,53	60,56	64,38	-3,82	20,44	19,25	1,19
Acervo Livros E	20,03	19,84	0,19	61,56	64,62	-3,06	20,06	19,7	0,36
Videoteca	20,19	19,52	0,67	62,6	65,65	-3,05	19,86	17,88	1,98
Sala TV e Vídeo	19,36	19,42	-0,06	63,92	65,95	-2,03	19,22	17,76	1,46
PS	19,33	19,42	-0,09	63,07	65,96	-2,89	19,67	17,76	1,91
Coleções Braille	20,01	17,55	2,46	56,01	68,21	-12,2	21,93	16,69	5,24
Acervo Periódicos B	21,31	18,05	3,26	55	64,92	-9,92	21,94	16,9	5,04
Acervo Periódicos C	21,29	18,12	3,17	55,12	64,89	-9,77	21,39	17,65	3,74
Acervo Periódicos D	21,03	18,12	2,91	55,64	64,85	-9,21	21,03	17,04	3,99
Acervo Periódicos E	20,98	18,19	2,79	56,09	64,74	-8,65	21,18	17,31	3,87
Depósito de Livros	20,67	17,66	3,01	56,68	67,8	-11,12	20,55	16,58	3,97
Jornal de Minas Gerais	18,77	17,27	1,5	57,74	69,29	-11,55	18,81	15,33	3,48
Diário Oficial	17,29	17,16	0,13	61,02	69,6	-8,58	18,16	15,17	2,99

APÊNDICE V – Total das horas em conforto higrotérmico da Biblioteca Central da UFV segundo as normas

Tabela V.1: Total de horas de conforto no verão e inverno, no pavimento térreo, por ambiente, segundo as normas

Ambiente	Horas Conforto											
	Verão						Inverno					
	24 Horas		6h a 24h		8h-12h e 14h-18h		24 Horas		6h a 24h		8h-12h e 14h-18h	
	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251
TZ 1	1447	2261	1426	2125	841	1110	5362	4658	4153	3468	1888	1517
TZ 2	1002	1451	1001	1442	657	914	4752	4272	3873	3394	1856	1554
TZ 3	1316	1786	1314	1769	835	1049	4713	4171	3831	3291	1754	1427
TZ 4	1997	2920	1891	2491	1059	1253	5308	4306	3960	3060	1708	1268
TZ 5	1237	1739	1234	1691	767	1011	4868	4366	3877	3377	1804	1512
TZ 6	1576	2560	1513	2213	864	1121	5418	4644	4110	3387	1848	1469
TZ 7	2009	2912	1869	2430	998	1185	5270	4258	3932	3042	1703	1296
TZ 8	1215	2818	1059	2276	570	1119	5607	4663	4238	3432	1918	1494
TZ 9	1215	2818	1059	2276	570	1119	5607	4663	4238	3432	1918	1494
TZ 10	1466	2441	1430	2213	848	1138	5430	4698	4152	3454	1899	1513
TZ 11	1149	2721	1059	2242	575	1119	5620	4743	4270	3474	1942	1542
TZ 12	2847	3088	2367	2285	1055	993	4887	3837	3512	2806	1520	1232
TZ 13	1487	2138	1472	2022	899	1090	4905	4226	3775	3109	1675	1286
TZ 14	1404	2016	1396	1916	865	1077	4901	4308	3803	3217	1703	1364
TZ 15	1920	3208	1717	2568	893	1218	5552	4412	4182	3214	1863	1407
TZ 16	3477	3398	2632	2515	1180	1139	4914	3735	3685	2793	1614	1236
TZ 17	2338	3406	2020	2684	1033	1235	5518	4221	4138	3106	1833	1363
TZ 18	2961	2835	2206	2136	996	970	4394	3620	3265	2673	1445	1188
TZ 19	1166	2740	1054	2238	543	1081	5597	4704	4245	3451	1922	1538
TZ 20	2874	3122	2183	2235	973	1054	4323	3286	3073	2333	1283	943
TZ 21	2874	3122	2183	2235	973	1054	4323	3286	3073	2333	1283	943
TZ 22	1690	2749	1618	2372	946	1170	5400	4474	4078	3214	1804	1359
TZ 23	1441	2647	1370	2280	800	1164	5438	4580	4119	3319	1841	1421
TZ 24	1976	2865	1866	2420	1011	1166	5317	4362	3990	3126	1747	1346
TZ 25	1278	1818	1274	1762	766	983	4861	4323	3834	3299	1744	1448
TZ 26	1450	2046	1448	2016	894	1113	4863	4223	3892	3254	1757	1389
TZ 27	1756	2231	1749	2144	1062	1115	4541	3821	3419	2705	1378	1005
TZ 28	1971	2712	1799	2230	939	1030	4833	3936	3543	2788	1526	1185
TZ 29	1126	2079	1087	1869	644	996	5184	4494	3965	3309	1790	1417
TZ 30	1337	2258	1302	2065	762	1100	5272	4592	4036	3387	1827	1478
TZ 31	781	1977	725	1659	395	820	5187	4606	3924	3387	1752	1479
TZ 32	997	1502	993	1455	587	795	4626	4145	3671	3193	1689	1434
TZ 33	1884	2646	1823	2332	1050	1144	5188	4309	3884	3056	1684	1263
TZ 34	1950	3105	1790	2554	946	1202	5391	4304	4043	3087	1784	1331
TZ 35	1363	2012	1340	1906	811	1041	5113	4500	3954	3362	1778	1449
TZ 36	1955	2535	1891	2257	1036	1048	4753	3918	3496	2714	1433	1072
TZ 37	992	1401	3341	1353	563	712	4248	3816	3341	2913	1519	1295

Tabela V.2: Total de horas de conforto no verão e inverno, no primeiro e segundo pavimentos, por ambiente, segundo as normas

Ambiente	Horas Conforto											
	Verão						Inverno					
	24 Horas		6h a 24h		8h-12h e 14h-18h		24 Horas		6h a 24h		8h-12h e 14h-18h	
	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251
1Z 1	1203	1725	1194	1660	703	915	4730	4223	3806	3306	1777	1498
1Z 2	2883	3783	2154	2834	964	1271	5283	3943	3997	2974	1775	1314
1Z 3	1236	1791	1221	1711	767	1009	4901	4371	3867	3350	1786	1477
1Z 4	1487	2170	1441	1995	870	1090	5139	4466	3963	3326	1780	1412
1Z 5	3286	3699	2596	2753	1203	1181	5096	3750	3726	2722	1538	1111
1Z 6	1311	1956	1285	1845	797	1050	5123	4527	4001	3428	1840	1500
1Z 7	2835	3716	2126	2792	953	1260	5232	3860	3940	2899	1757	1288
1Z 8	1164	1602	1154	1539	683	872	4588	4117	3694	3231	1711	1457
1Z 9	1164	1631	1156	1572	705	915	4683	4185	3737	3246	1713	1428
1Z 10	1160	1680	1144	1601	702	895	4863	4338	3821	3310	1756	1457
1Z 11A	1514	2463	1435	2140	790	1080	5222	4458	3949	3236	1757	1392
1Z 11B	1598	2444	1509	2104	809	1048	5148	4397	3881	3193	1724	1383
1Z 11C	1947	2755	1759	2285	903	1073	5109	4177	3801	3010	1691	1309
1Z 11D	1153	1761	1128	1666	688	928	5002	4458	3901	3379	1784	1484
1Z 11E	1199	1877	1170	1757	704	978	5002	4443	3885	3352	1761	1455
1Z 11F	1530	2302	1458	2046	803	1045	5063	4348	3838	3180	1704	1367
1Z 11G	1169	1851	1140	1737	687	960	4894	4339	3803	3274	1717	1417
1Z 12	1160	1647	1152	1588	720	932	4610	4113	3670	3179	1682	1387
1Z 13	1201	1774	1178	1680	734	956	4846	4303	3779	3256	1719	1403
1Z 14	1238	1849	1213	1743	740	970	5019	4444	3891	3339	1762	1448
1Z 15	2530	2921	2091	2210	949	959	4042	3000	2800	2016	1108	777
1Z 16	2369	2439	1742	1686	739	672	3094	2264	1988	1432	682	460
1Z 17	2358	2386	1704	1631	710	648	2986	2184	1912	1378	644	438
1Z 18	2369	2440	1743	1686	739	672	3093	2265	1987	1432	681	460
1Z 19	2523	2924	2093	2213	949	962	4055	3009	2807	2017	1113	782
1Z 20	1617	2268	1575	2108	919	1106	4986	4260	3832	3144	1705	1322
1Z 21	2637	3650	2097	2787	992	1225	5312	3892	3922	2851	1718	1223
1Z 22	2333	2691	1905	2004	855	850	3770	2830	2541	1856	964	675
1Z 23	2278	2620	1888	1973	847	833	3825	2887	2577	1885	977	696
1Z 24	1658	2311	1609	2135	927	1109	4990	4235	3823	3111	1693	1302
1Z 25	2404	2703	1924	1975	851	826	3657	2699	2450	1756	912	627
1Z 26	2254	2619	1874	1975	841	838	3794	2876	2550	1870	962	685
1Z 27	1270	1877	1240	1765	748	977	5011	4421	3875	3313	1753	1437
1Z 28	2370	2864	2010	2232	929	971	4213	3206	2937	2173	1177	848
1Z 29A	1729	2497	1628	2153	866	1049	5038	4242	3778	3055	1675	1320
1Z 29B	1620	2243	1562	2038	869	1029	4803	4078	3652	2975	1605	1261
1Z 29C	1622	2343	1541	2064	840	1019	4975	4239	3750	3077	1661	1320
1Z 30	2039	2661	1780	2120	853	925	4431	3497	3160	2406	1326	983
1Z 31	1585	2235	1544	2080	898	1094	4963	4256	3825	3156	1707	1334
1Z 32	1196	1686	1180	1605	696	890	4721	4204	3710	3207	1695	1406
1Z 33	2781	3843	2059	2873	875	1263	5100	3631	3820	2728	1694	1221
1Z 34	1155	1672	1141	1606	727	953	4745	4234	3742	3243	1742	1439
1Z 35	2408	3283	1780	2447	717	1078	4737	3510	3545	2630	1623	1213
1Z 36	1313	1961	1274	1814	766	995	4841	4244	3738	3174	1701	1379

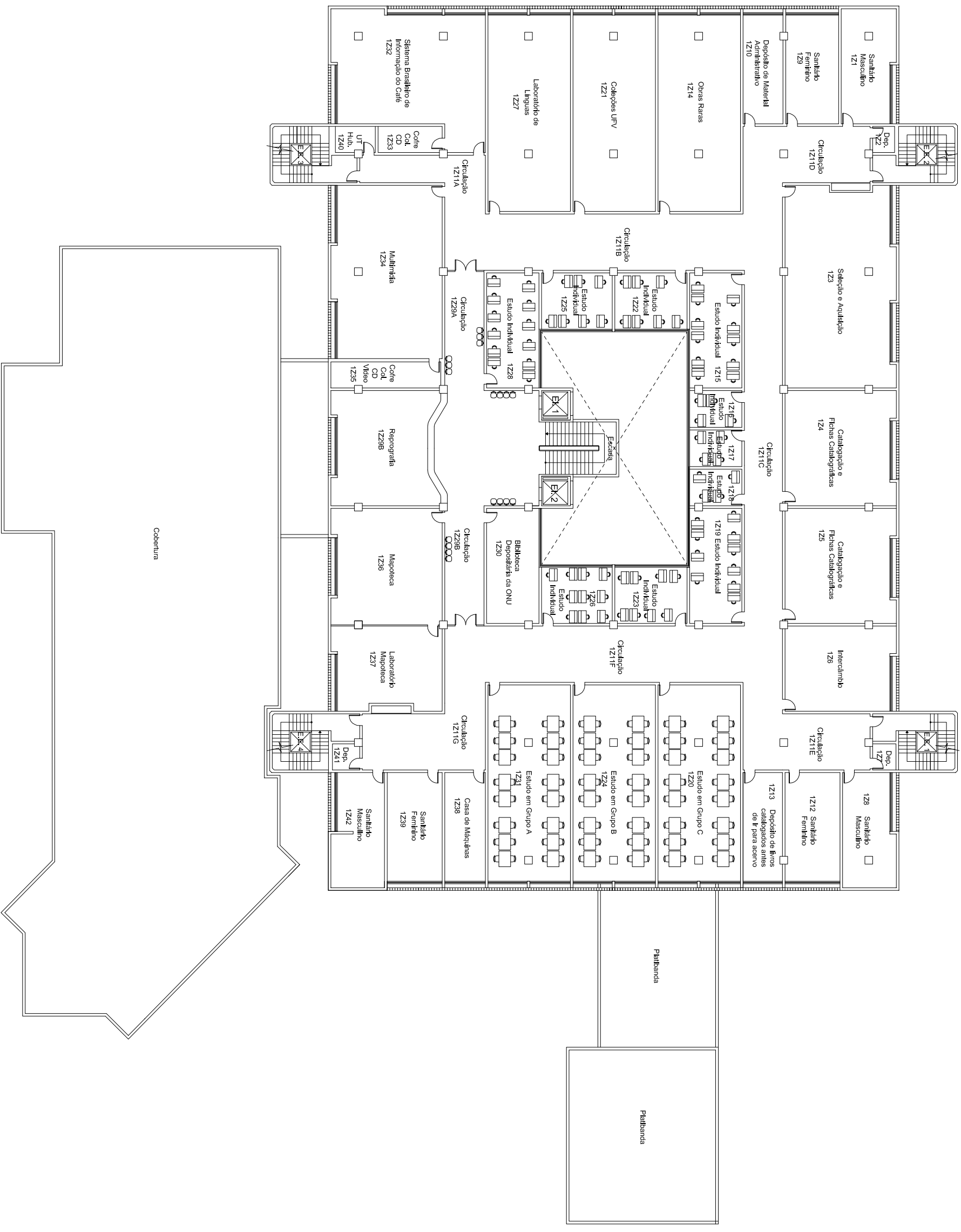
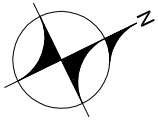
Tabela V.2: Continuação

Ambiente	Horas Conforto											
	Verão						Inverno					
	24 Horas		6h a 24h		8h-12h e 14h-18h		24 Horas		6h a 24h		8h-12h e 14h-18h	
	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251
1Z 37	1255	1838	1231	1735	772	984	4808	4252	3744	3209	1710	1392
1Z 38	1150	1709	1544	1625	709	933	4782	4255	3825	3232	1716	1407
1Z 39	1096	1559	1089	1510	683	901	4494	4018	3607	3137	1670	1389
1Z 40	2382	2363	1738	1778	749	771	3293	2492	2515	1901	1129	862
1Z 41	2501	3214	1878	2416	843	1097	4511	3273	3382	2455	1494	1085
1Z 42	1052	1454	1044	1406	621	790	4346	3899	3510	3069	1634	1384
2Z 1	1261	1790	1249	1725	720	954	4703	4182	3781	3270	1750	1472
2Z 2	3540	3618	2666	2708	1187	1193	4720	3469	3528	2576	1550	1120
2Z 3A	1455	1969	1447	1901	870	1046	4514	3469	3573	2942	1555	1188
2Z 3B	1414	2017	1391	1909	832	1045	4823	4231	3751	3180	1676	1354
2Z 3C	1625	2209	1588	2062	915	1056	4732	3991	3625	2916	1585	1196
2Z 3D	1440	2058	1416	1942	844	1056	4809	4213	3736	3162	1665	1342
2Z 3E	1478	1988	1469	1913	901	1056	4539	3904	3597	2969	1589	1219
2Z 4	1281	1757	1270	1679	751	916	4651	4098	3671	3127	1664	1335
2Z 5	1242	1757	1224	1673	704	902	4744	4204	3723	3198	1697	1405
2Z 6	1528	2092	1491	1940	863	1000	4688	4009	3603	2956	1585	1232
2Z 7	1140	1591	1129	1532	693	881	4566	4086	3618	3147	1660	1383
2Z 8	1187	1610	1179	1552	736	894	4504	4010	3608	3120	1651	1353
2Z 9	3278	3386	2466	2530	1085	1127	4018	2918	3016	2173	1345	967
2Z 10	1103	1514	1096	1469	681	849	4482	4022	3616	3162	1686	1416
2Z 11	1102	1580	1090	1519	657	847	4553	4084	3614	3155	1667	1406
2Z 12	1106	1595	1094	1526	657	851	4558	4087	3613	3152	1664	1402
2Z 13	1099	1518	1092	1467	664	829	4485	4027	3591	3138	1670	1404
2Z 14	2810	3372	2095	2535	924	1119	4300	3114	3222	2343	1431	1039
2Z 15	1134	1515	1125	1463	661	814	4421	3942	3575	3103	1665	1392

Tabela V.3: Total de horas de conforto no verão e inverno, no terceiro pavimento, por ambiente, segundo as normas

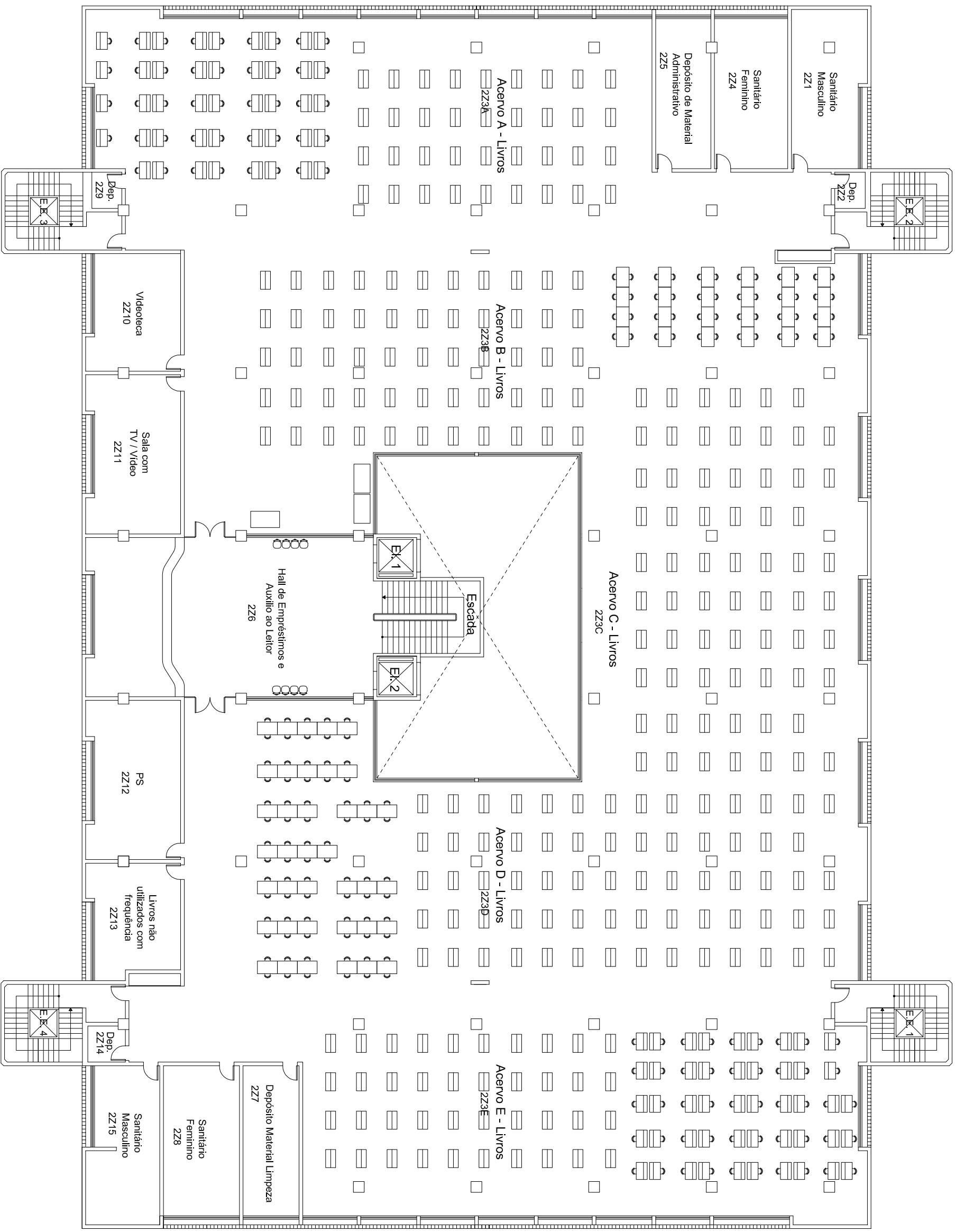
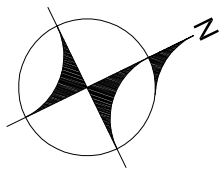
Ambiente	Horas Conforto											
	Verão						Inverno					
	24 Horas		6h a 24h		8h-12h e 14h-18h		24 Horas		6h a 24h		8h-12h e 14h-18h	
	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251	ASHRAE Std 55	EN 15251
3Z 1	1476	2079	1433	1925	759	972	4874	4216	3770	3146	1702	1389
3Z 2	3235	3130	2427	2375	1078	1071	4252	3107	3202	2333	1429	1044
3Z 3B	1929	2628	1764	2193	876	1034	4791	3922	3549	2799	1573	1219
3Z 3C	1899	2533	1770	2158	909	1026	4714	3825	3501	2706	1537	1139
3Z 3D	1893	2612	1749	2203	871	1052	4778	3913	3547	2787	1563	1207
3Z 3E	1914	2523	1801	2181	928	1030	4664	3802	3461	2682	1500	1121
3Z 4	1493	2081	1438	1890	775	949	4772	4095	3636	3005	1597	1266
3Z 5	1278	1808	1249	1695	695	887	4633	4082	3592	3066	1617	1331
3Z 6	1325	1853	1294	1727	733	897	4553	3969	3507	2949	1558	1251
3Z 7	1325	1846	1294	1722	733	893	4549	3967	3506	2950	1556	1251
3Z 8	1366	1848	1336	1727	770	917	4548	3934	3520	2931	1576	1240
3Z 9	1814	2460	1689	2103	858	1018	4644	3823	3447	2718	1510	1156
3Z 10	1230	1684	1204	1591	707	866	4519	4019	3525	3048	1595	1332
3Z 11	1428	1961	1384	1794	788	917	4673	4042	3583	2986	1587	1268
3Z 12	2872	2950	2154	2234	939	1022	3800	2867	2851	2157	1268	976
3Z 13	1159	1566	1145	1497	676	830	4434	3965	3514	3057	1623	1362
3Z 14	1198	1647	1171	1552	663	824	4480	3979	3494	3017	1589	1334
3Z 15	1208	1655	1181	1558	671	824	4481	3973	3490	3006	1586	1324
3Z 16	1165	1569	1149	1492	662	805	4434	3945	3494	3019	1605	1345
3Z 17	2666	2709	2018	2030	900	898	3564	2762	2671	2060	1180	906
3Z 18	1344	1872	1305	1726	702	872	4602	4017	3554	2999	1618	1325

Anexo A – Plantas Baixas da Biblioteca Central da UFV

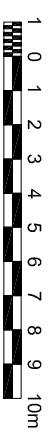


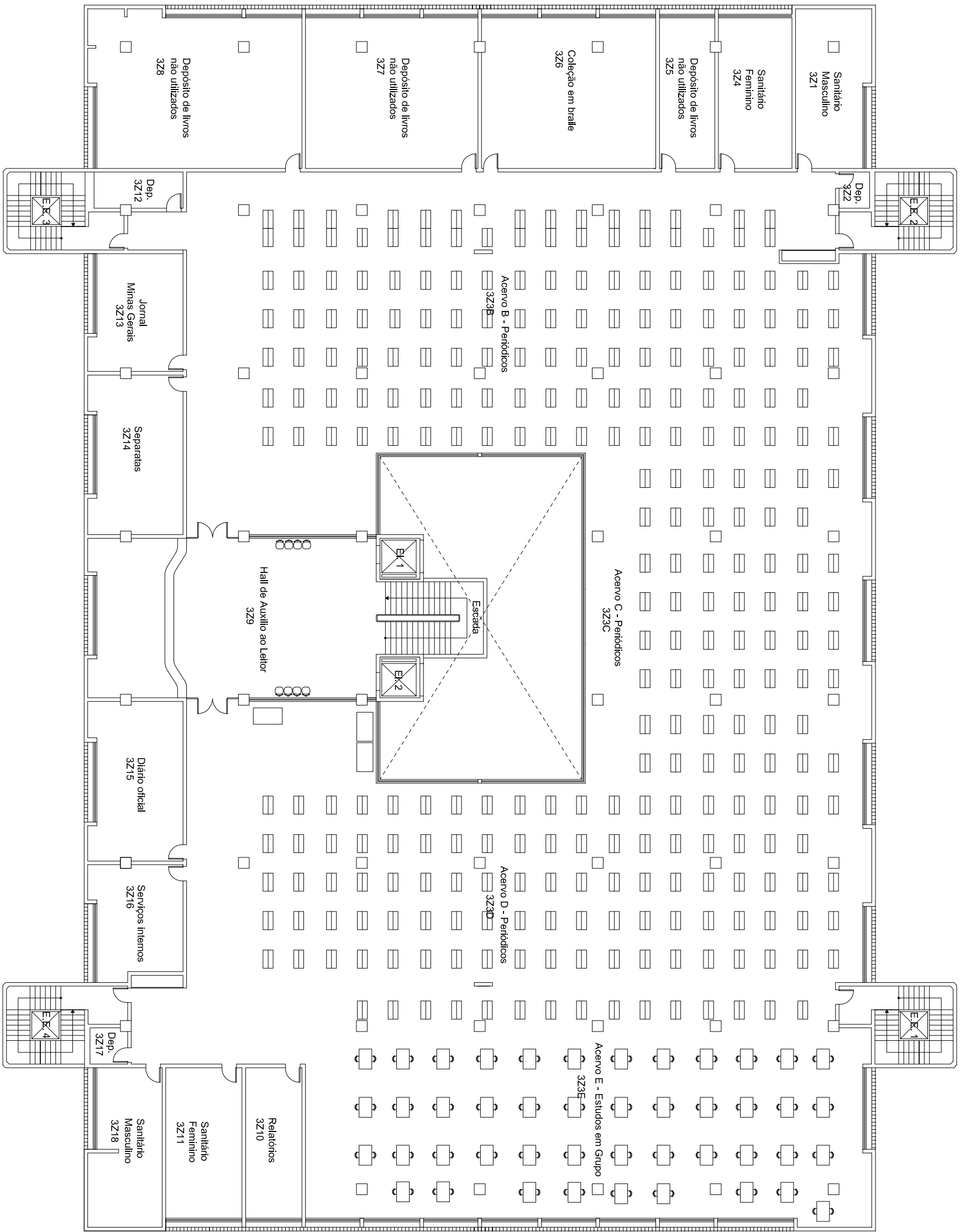
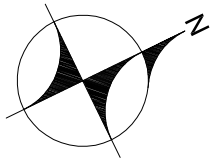
Planta Baixa Biblioteca Central - 1º Pavimento

1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10m



Planta Baixa Biblioteca Central - 2º Pavimento





Planta Baixa Biblioteca Central - 3º Pavimento

