

ALDOMAR PEDRINI

Desenvolvimento de Metodologia de Calibração de Modelos para Simulações Térmica e Energética de Edificações

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Florianópolis

1997

***Desenvolvimento de Metodologia de calibração de
modelos para simulações térmica e energética de
edificações***

ALDOMAR PEDRINI

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia
Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos
requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil**

Área de concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Roberto Lamberts.

Florianópolis

1997

PEDRINI, Aldomar. Desenvolvimento de Metodologia de Calibração de Modelos para Simulações Térmica e Energética de Edificações, 1997. 186p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Roberto Lamberts

Defesa: 23/06/97

O trabalho reúne, avalia e propõe métodos de determinação e calibração de modelos de edificações para simulações térmicas e energéticas. Os métodos consistem em criar modelos com diferentes níveis de complexidade de um mesmo caso real e avaliá-los através de comparações de desempenhos simulados com reais obtidos por medições e monitoração em campo a partir desses resultados são determinadas técnicas de calibrações que consistem de correções e ajustes das variáveis que caracterizam o modelo. Os resultados demonstram as limitações e potenciais dos métodos, servindo como parâmetros importantes a profissionais que atuam no diagnóstico térmico e energético de edificações.

Dissertação defendida e aprovada em 23 de junho de 1997 pela comissão
examinadora

Prof. Roberto Lamberts, Ph.D. - Orientador

Prof. Roberto de Oliveira, Dr. - Coordenador do CPGEC

Banca Examinadora:

Prof. Roberto Lamberts, Ph.D. - Moderador
ECV/UFSC

Prof. Paulo Smith Schneider, Dr. - Membro
EMC/UFRGS

Prof. Carlos Alfredo Clezar, Ms.C. - Membro
EMC/UFSC

Prof. Fernando Oscar Rutkay Pereira, Ph.D. - Membro
ARQ/UFSC

Prof. José Antônio Bellini da Cunha Neto, Dr. - Membro
ECV/UFSC

Prof. Vicente de Paulo Nicolau, Dr. - Membro
ECV/UFSC

Agradecimentos

À Marcinha, aos nossos pais e ao Roberto Lamberts.

Aos amigos e colaboradores Fernando Rutkay Pereira, José Antônio Bellini da Cunha Neto e Vicente de Paulo Nicolau.

Aos integrantes da banca, Prof. Carlos Alfredo Clezar e Prof. Paulo Smith Schneider.

Ao LMPT (Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas de Materiais), e aos seus coordenadores Paulo C. Philippi, José Antônio Bellini da Cunha Neto, Vicente de Paulo Nicolau. Aos seus pesquisadores que contribuíram diretamente com o trabalho: Nathan Mendes, Saulo Güths, Mário Vargas, Anastácio Silva Júnior, Roberto Gaiser, Rodrigo Pérsico de Oliveira, Luis Fernandes Lemos, e Anderson Alves. E aos seus pesquisadores que contribuíram indiretamente com o trabalho: Zhi Rong Liang, Celso P. Fernandes, André Bueno, Fábio Magnani, Itamar Cândido Perini, Carlos E. Paggi.

Ao companheiro de laboratório Enedir Ghisi pelas correções finais.

Ao acadêmico de engenharia civil Vilmar GrüdtnerSilveira.

À CELESC, ao seu grupo CQDE e em especial ao técnico Gérson.

À ELETROSUL. As todos do depto. de manutenção, e seus integrantes Herto Lunardelli (refrigeração), Ronald João Roussenq (elétrica e refrigeração), Mário Cesar da Rosa (elétrica), Vilmar Augusto Azambuja (elétrica) e José Luís da Silva. Ao integrantes do DOS, Eng^o. Fernando Mussoi e Eng^o Jaime Ruben Cabrera

Ao LABSOLAR, ao seu coordenador Prof. Sérgio Colle e ao seu pesquisador Sílvio Mantelli.

Aos pesquisadores do NPC: Luis Alberto Gómes e Solange Gourlard.

Aos pesquisadores Ângelo Bulla, e Marcos Barros de Souza.

À Alessandro Gil Catto, da Optimum Engenharia.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos e insumos.

Ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Sumário

Lista de Figuras.....	i
Lista de Tabelas	v
Lista de Abreviaturas, Siglas e Termos	vi
Lista de Símbolos.....	ix
Lista de Modelos Usados	x
Resumo	xii
Abstract	xiii
1. Introdução.....	1
1.1. Panorama Energético	3
1.2. Consumo de Energia em Edificações.....	4
1.3. Medidas de Eficiência Energética em Edificações Comerciais.....	5
1.4. Uso de Programas Computacionais na Avaliação das Medidas de Redução de Consumo de Energia.....	6
1.5. Escolha do Programa.....	7
1.6. O Programa DOE-2.1E	7
1.7. Calibração de Modelos para o DOE-2.1E.....	9
1.8. Objeto de estudo	10
1.9. Estrutura da Dissertação.....	12
2. Revisão Bibliográfica.....	14
2.1. Modelos.....	14
.....	14
2.1.1. Limitações da modelagem.....	15
2.1.2. Estrutura do Modelo Segundo o DOE-2.1E.....	16
2.1.3. Levantamento de Sensibilidade de Variáveis	21
2.2. Calibração de Modelos.....	23
2.2.1. Ajustes por Consumo Total de Energia Elétrica Medida em Períodos	24
2.2.2. Avaliação de Dados Horários	25
2.2.3. Ajuste através de Consumo de Energia por Uso Final.....	25
2.2.4. Ajuste através de Monitoração em Curtos Períodos de Tempo) - STEM (Short Term Energy Monitoring).....	28

2.2.5. Comparação MCT & STEM.....	34
2.3. Características do Sistema de Monitoração.....	35
2.4. Determinação de Desempenho de Resfriador de Líquido.....	36
3. Metodologia.....	38
3.1. Grupo I ou Calibração Mensal.....	39
3.1.1. Desenvolvimento da Planilha.....	41
3.1.2. Escolha do ano de referência	41
3.1.3. Compilação do Primeiro Modelo	42
3.1.4. Identificação das Fontes de Carga Térmica.....	43
3.1.5. Levantamento de Sensibilidade.....	44
3.1.6. Ajuste de Variáveis	44
3.1.7. Análise de Parâmetros	46
3.2. Grupo II ou Calibração Horária	47
3.2.1. Auditoria.....	47
3.2.2. Monitoração de Temperatura Interna.....	47
3.2.3. Análise dos Dados Horários de Consumo de Energia (Memória de Massa).....	48
3.2.4. Arquivos Climáticos Empregados.....	49
3.3. Grupo III - Monitoração de Energia por Uso Final	49
3.3.1. Determinação das Cargas	50
3.3.2. Análise do Diagrama Unifilar.....	52
3.3.3. Projeto de Monitoração	53
3.3.4. Arquivo Climático Empregado	54
3.4. Grupo IV - Estimativa de Eficiências dos Resfriadores de Líquido.....	54
3.5. Grupo V - Calibração de Modelos para Curtos Períodos de Tempo (STEM).....	55
4. Resultados Obtidos	58
4.1. Grupo I	58
4.1.1. Ano de referência	58
4.1.2. Modelo Inicial: <i>Planilha</i>	59
4.1.3. Geometria : Modelo <i>PLANILHA-GS (Geometria Simplificada)</i>	64
4.1.4. Análise de Sensibilidade.....	65
4.1.5. Modelo <i>PLANILHA-GSLAJE</i>	66
4.1.6. Geometria: Modelo <i>PLANILHA-GSLAJE</i>	69

4.1.7. Levantamento de Incertezas.....	69
4.1.8. Influência do Arquivo Climático na Simulação.....	74
4.1.9. Revisão do Modelo.....	79
4.1.10. Modelos Baseados nos Projetos Arquitônicos.....	79
4.1.11. Comparação dos Modelos.....	81
4.1.12. Análise complementar do Grupo I.....	83
4.2. Grupo II - Auditoria e Memória de Massa.....	83
4.2.1. Uniformidade de Uso da Edificação.....	83
4.2.2. Compilação do Arquivo Climático.....	84
4.2.3. Auditoria: Visita à Edificação.....	85
4.2.4. Resultado da Auditoria: Modelo <i>AUDITORIA</i>	90
4.2.5. Comparação com de Dados Horários de Consumo.....	90
4.3. Calibração com Dados de Memória de Massa.....	92
4.3.1. Resultados do Modelo <i>MEMMASSA</i>	93
4.4. Grupo III - Monitoração de Energia por Uso Final.....	95
4.4.1. Trafo 2 (transformador 2 da subestação).....	96
4.4.2. Trafo 1.....	98
4.4.3. Cargas Essenciais.....	100
4.4.4. Separação das “Cargas Essenciais”.....	102
4.4.5. Trafo 3 (Transformador do Sistema de Resfriamento).....	105
4.4.6. Consumo de Energia de Elevadores.....	107
4.4.7. Determinação dos Padrões de Uso Finais.....	108
4.4.8. Aplicação dos Resultados : Modelos <i>USOFINAL e USOFINAL-AC</i>	109
4.5. Grupo IV - Estimativa de Eficiência dos Resfriadores de Líquidos.....	110
4.5.1. Medições de Temperaturas.....	111
4.5.2. Consumo de Energia Elétrica.....	113
4.5.3. Estimativa de Vazão.....	114
4.5.4. Estimativa de eficiência.....	117
4.5.5. Resultados Obtidos do Modelo COP.....	119
4.6. Grupo V - Caracterização do Envoltório.....	125
4.6.1. Análise de Sensibilidade do Modelo COP-CENT.....	126
4.6.2. Resultados de Análise de Sensibilidade do Envoltório.....	130
4.7. Análise de Uso Final dos Principais Modelos.....	134
4.8. Modelo Sugerido.....	136

5. Conclusões.....	138
5.1. Grupo I	138
.....	138
5.2. Grupo II.....	140
.....	140
5.3. Grupo III.....	142
5.4. Grupo IV.....	143
5.5. Grupo V.....	143
.....	143
5.6. Conclusões Gerais.....	144
5.7. Sugestões para Trabalhos Futuros	146
6. Bibliografia.....	148
ANEXO A- Planilha do DOE-2.1E.....	153
ANEXO B - Relatório LS-C (último modelo)	157
ANEXO C - Relatório de Saída LS-F (último modelo).....	158
ANEXO D - Relatório ES-E (último modelo)	160
ANEXO E - Dados Técnicos dos Registradores da ACR.....	161
ANEXO F - Dados Técnicos do RE1000	163
ANEXO G - Exemplificação da Geometria.....	164
ANEXO H - Planilha de Coleta de Dados	165

Lista de Figuras

FIGURA 1.1 - CRESCIMENTO DO CONSUMO ELÉTRICO DO SETOR COMERCIAL EM SC.	3
FIGURA 1.2 - PRINCIPAIS CONSUMIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA DO SETOR COMERCIAL E PARA ESCRITÓRIOS E LOJAS DE VAREJO.	4
FIGURA 1.3 - FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DO DOE-2.1E.	9
FIGURA 1.4 - USO FINAL DE ENERGIA DO EDIFÍCIO DA ELETROSUL, DE TOLEDO (1995).....	11
FIGURA 1.5 - EDIFÍCIO SEDE DA ELETROSUL, FLORIANÓPOLIS, VISTA AÉREA	11
FIGURA 1.6 - DETALHE DA FACHADA FRONTAL.....	11
FIGURA 1.7 - DETALHE DA FACHADA LATERAL.....	12
FIGURA 1.8 - DETALHE DOS FUNDOS.	12
FIGURA 1.9 - DETALHE DO CONJUNTO DO DOMO ZENITAL.	12
FIGURA 1.10 - DETALHE DO ÁTRIO CENTRAL E DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....	12
FIGURA 2.1 - IMAGEM OBTIDA DE UM ARQUIVO DE ENTRADA, PELO PROGRAMA DRAWBDL.....	17
FIGURA 2.2 - PADRÃO DE USO DURANTE UM DIA (SCHEDULE).....	18
FIGURA 2.3 - DIAGRAMA DO SYSTEMS PARA UM SISTEMA SECUNDÁRIO SERVIDO POR CLIMATIZADORES (FAN-COILS) E ÁGUA GELADA.	19
FIGURA 2.4 - SISTEMA SECUNDÁRIO DO TIPO “UNITÁRIO”.	20
FIGURA 2.5 - EXEMPLIFICAÇÃO DO PLANT SEGUNDO O DOE-2.1E.	21
FIGURA 2.6 - PLANTA BAIXA DE MODELO DE ESCRITÓRIO ABORDADO POR STETIU (1993).	22
FIGURA 2.7 - PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO POR USO FINAL.....	26
FIGURA 2.8 - CURVA DE EFICIÊNCIA DE UM RESFRIADOR (BEYENE ET AL. 1994).....	37
FIGURA 3.1 - DIAGRAMA DE CALIBRAÇÃO PARA O GRUPO I.	40
FIGURA 3.2 - EXEMPLIFICAÇÃO DE NOTA FISCAL DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.	45
FIGURA 3.3 - EXEMPLO DE EXTRATO DE FATURAMENTO.	45
FIGURA 3.4 - SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE TEMPERATURA JUNIOR, DA ACR.	48
FIGURA 3.5 - EQUIPAMENTO DE MONITORAÇÃO DE CORRENTE APARENTE.....	51
FIGURA 3.6 - MEDIÇÃO DE CARGAS ELÉTRICA COM O RE1000.	51
FIGURA 3.7 - DIAGRAMA UNIFILAR.	52
FIGURA 3.8 - MONITORAÇÃO DE RENDIMENTO DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR.	55
FIGURA 4.1 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DO EDIFÍCIO DA ELETROSUL DE 1994 AO INÍCIO DE 1997.....	59
FIGURA 4.2 - MEDIÇÃO DA ORIENTAÇÃO GEOGRÁFICA DA EDIFICAÇÃO.	60
FIGURA 4.3 - PADRÕES DE USO DE OCUPAÇÃO.	61
FIGURA 4.4 - PADRÕES DE USO DE EQUIPAMENTOS E ILUMINAÇÃO.	61
FIGURA 4.5 - BRISE COM ACIONAMENTO INTERNO, DO EDIFÍCIO SEDE DA ELETROSUL.	62
FIGURA 4.6 - DESENHO ESQUEMÁTICO DE VENEZIANAS EXTERNAS.	62
FIGURA 4.7 - CURVA DE CONSUMO MENSAL DO MODELO PLANILHA.....	63
FIGURA 4.8 - DIFERENÇAS ENTRE CONSUMO E DEMANDA ENTRE O MODELO PLANILHA E HISTÓRICO REAL DE 1995.	64

FIGURA 4.9 - DIFERENÇAS DE CONSUMO E DEMANDAS MENSAS ENTRE OS MODELOS PLANILHA E PLANILHA-GS.....	65
FIGURA 4.10 - CARGAS TÉRMICAS MENSAS.....	65
FIGURA 4.11 - DETALHE DE CONSTRUÇÃO DA LAJE DO TETO.	66
FIGURA 4.12 - CARGAS TÉRMICAS MENSAS APÓS CORREÇÃO DA LAJE.	68
FIGURA 4.13 - EVOLUÇÃO DOS CONSUMOS DOS ARQUIVOS PLANILHA-GS E PLANILHA-GSLAJE.	68
FIGURA 4.14 - DIFERENÇAS ENTRE O CONSUMO DE ENERGIA MENSAL DOS MODELOS PLANILHA-LAJE E PLANILHA-GSLAJE.....	69
FIGURA 4.15 - PRINCIPAIS COMPONENTES DE CARGAS TÉRMICAS ANUAIS.	70
FIGURA 4.16 - CARGAS TÉRMICAS DA LAJE PARA CONDIÇÃO SECA E SATURADA.....	74
FIGURA 4.17 - INCIDÊNCIA DE DADOS HORÁRIOS REAIS COMPROMETIDOS.....	75
FIGURA 4.18 - COMPARAÇÃO DE TEMPERATURAS DE BULBO SECO DOS ARQUIVOS CLIMÁTICOS DE 1995 E TRY.....	76
FIGURA 4.19 - RADIAÇÃO TOTAL HORIZONTAL DO ANO DE 1995 E DO ARQUIVO TRY.	76
FIGURA 4.20 - RADIAÇÃO DIRETA NORMAL DOS ARQUIVOS CLIMÁTICOS DE 1995 E TRY.	77
FIGURA 4.21 - ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO ARQUIVO CLIMÁTICO NOS RESULTADOS DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA MENSAL DO MODELO PLANILHA-GSLAJE.	78
FIGURA 4.22 - DIFERENÇA DE CONSUMO MENSAL ENTRE ARQUIVOS CLIMÁTICOS TRY E 1995.	78
FIGURA 4.23 - EVOLUÇÃO DO MODELO PLANILHA-GSLAJE APÓS CORREÇÃO MEDIANTE PROJETO ARQUITÔNICO.	79
FIGURA 4.24 - EVOLUÇÕES DO MODELO PLANTA PARA PLANTA-EQ E PARA NIVEL1.....	80
FIGURA 4.25 - EVOLUÇÃO DAS DIFERENÇAS DE CONSUMO E DEMANDAS SIMULADAS EM RELAÇÃO AOS DADOS REAIS.....	81
FIGURA 4.26 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO ANUAL DE ENERGIA POR ÁREA DA EDIFICAÇÃO.	82
FIGURA 4.27 - PRINCIPAIS USOS FINAIS DE ENERGIA DE CADA MODELO.....	82
FIGURA 4.28 - DIFERENÇAS DE CONSUMO DE ENERGIA MENSAL DO MODELO NIVEL1 SIMULADO COM ARQUIVO CLIMÁTICO TRY E REAL DE 1995.....	83
FIGURA 4.29 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DO EDIFÍCIO DA ELETROSUL DE 1994 AO INÍCIO DE 1997.....	84
FIGURA 4.30 -DETALHE DE ÁREA COM PÉ-DIREITO DIFERENCIADO.....	85
FIGURA 4.31 - MONITORAÇÃO DE TBS DO CPD PARA DIFERENTES DIAS DE SETEMBRO DE 1996.	87
FIGURA 4.32 - MONITORAÇÃO DE TBS DA FACE NORTE, PISO SUPERIOR, PARA DIFERENTES DIAS DE SETEMBRO DE 1996.	88
FIGURA 4.33 - MONITORAÇÃO DE TBS DA FACE NORTE, PISO TÉRREO, PARA DIFERENTES DIAS DE SETEMBRO DE 1996.	88
FIGURA 4.34 - MONITORAÇÃO DE TBS DA FACE SUL, PARA DIFERENTES DIAS DE SETEMBRO DE 1996.....	89
FIGURA 4.35 - MONITORAÇÃO DE TBS DO ÁTRIO, PARA DIFERENTES DIAS DE SETEMBRO DE 1996.....	89
FIGURA 4.36 - CONSUMO MENSAL PARA O MODELO AUDITORIA.	90
FIGURA 4.37 - DESEMPENHO DO MODELO AUDITORIA.....	91
FIGURA 4.38 - PERFIL MÉDIO DE CARGAS DE CONSUMO DE DIAS ÚTEIS.....	92

FIGURA 4.39 - PERFIL MÉDIO DE CARGAS DE CONSUMO DE FERIADOS.	93
FIGURA 4.40 - CONSUMO HORÁRIO DO MODELO MEMMASSA.....	94
FIGURA 4.41 - CONSUMO MENSAL DO MODELO MEMMASSA.....	94
FIGURA 4.42 - DIAGRAMA UNIFILAR.	96
FIGURA 4.43 - REPRODUÇÃO DOS PERFIS DE CARGA DE DEMANDA DO TRAF0 2, PARA DIAS ÚTEIS.....	97
FIGURA 4.44 - CARACTERIZAÇÃO DO USO FINAL DO TRAF0 2.....	98
FIGURA 4.45 - PERFIL DE DEMANDA DO TRAF0 1.....	99
FIGURA 4.46 - CARGAS DE CONSUMO DE EQUIPAMENTOS E ILUMINAÇÃO DO TRAF0 1.....	99
FIGURA 4.47 - PERFIS DE CARGAS DE DEMANDA DO TRAF0 2 E CARGAS ESSENCIAIS.....	100
FIGURA 4.48 - BOMBAS DE ÁGUA DE CONDENSAÇÃO.	101
FIGURA 4.49 - BOMBAS DE ÁGUA GELADA.....	101
FIGURA 4.50 - PROJEÇÃO DO CONSUMO HORÁRIOS DOS CLIMATIZADORES.	102
FIGURA 4.51 - PROJEÇÃO DO CONSUMO HORÁRIOS DAS BOMBAS HIDRÁULICAS.....	102
FIGURA 4.52 - DEMANDA DOS COMPRESSORES 1, 2 E 3 DO RESFRIADOR ALTERNATIVO DE 100 TR.	103
FIGURA 4.53 - IDENTIFICAÇÃO DO ACIONAMENTO DOS COMPRESSORES DO RESFRIADOR ALTERNATIVO NO PERFIL DE CARGAS ESSENCIAIS.....	104
FIGURA 4.54 - PADRÕES DE USO DAS CARGAS ESSENCIAIS.....	104
FIGURA 4.55 - DETALHE DE UMA DAS CENTRÍFUGAS DE 400 TR.....	105
FIGURA 4.56 - MEDIÇÃO DAS CARGAS DE CONSUMO DO TRAF0 3 E DAS DUAS CENTRÍFUGAS DE 400 TR CADA.....	106
FIGURA 4.57 - SEPARAÇÃO DAS CARGAS DEPENDENTES E NÃO DEPENDENTES DO CLIMA.	107
FIGURA 4.58 - PERFIL DE CONSUMO DOS ELEVADORES.....	108
FIGURA 4.59 - PADRÕES DE ILUMINAÇÃO.....	108
FIGURA 4.60 - PADRÕES DE USO DE EQUIPAMENTOS PARA FERIADOS.....	109
FIGURA 4.61 - AVALIAÇÃO DO MODELO USOFINAL.....	109
FIGURA 4.62 - AVALIAÇÃO DO MODELO USOFINAL-AC.....	110
FIGURA 4.63 - DETALHE DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DE ÁGUA.....	111
FIGURA 4.64 - EVOLUÇÕES DE TEMPERATURAS DE ÁGUA GELADA DAS CENTRÍFUGAS.....	112
FIGURA 4.65 - MONITORAÇÃO DE TEMPERATURA DE ÁGUA GELADA DO RESFRIADOR ALTERNATIVO.....	113
FIGURA 4.66 - MONITORAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DO RESFRIADOR ALTERNATIVO.....	114
FIGURA 4.67 - MONITORAÇÃO DAS CARGAS DE CONSUMO DAS CENTRÍFUGAS.....	114
FIGURA 4.68 - CURVAS DE PERFORMANCE DA BOMBA HIDRÁULICA DE ÁGUA GELADA.....	116
FIGURA 4.69 - CAPACIDADE DE REFRIGERAÇÃO DO RESFRIADOR ALTERNATIVO.....	117
FIGURA 4.70 - CAPACIDADE DE REFRIGERAÇÃO DAS CENTRÍFUGAS.....	117
FIGURA 4.71 - EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA DO RESFRIADOR ALTERNATIVO E DA TEMPERATURA DE SAÍDA DE ÁGUA GELADA.....	118
FIGURA 4.72 - EFICIÊNCIA DA CENTRÍFUGA 1.....	119
FIGURA 4.73 - EFICIÊNCIA DA CENTRÍFUGA 2.....	119
FIGURA 4.74 - PERFORMANCE DO MODELO COP.....	120

FIGURA 4.75 - VARIAÇÕES DE CONSUMO MENSAL PARA VARIAÇÕES DE EFICIÊNCIA DAS CENTRÍFUGAS E RESFRIADOR ALTERNATIVO.....	122
FIGURA 4.76 - MODELO ATUAL, SEM FUNCIONAMENTO DA CENTRÍFUGA 2.....	123
FIGURA 4.77 - SIMULAÇÃO PARA CENTRÍFUGAS COM MESMA EFICIÊNCIA.	124
FIGURA 4.78 - EVOLUÇÃO DE TEMPERATURAS DURANTE AS MADRUGADAS DE DEZEMBRO, JANEIRO, FEVEREIRO E MARÇO DO ARQUIVO CLIMÁTICO DE 1995.....	125
FIGURA 4.79 - EVOLUÇÃO DAS CARGAS TÉRMICAS MENSAS.	127
FIGURA 4.80 - VISTA EXTERNA DO DOMO.	128
FIGURA 4.81 - VISTA INTERNA DO DOMO.....	128
FIGURA 4.82 - DETALHE DO VÃO LIVRE ENTRE A LUMINÁRIA E O DOMO.....	129
FIGURA 4.83 - DETALHE DAS CALHAS DO ÁTRIO.	129
FIGURA 4.84 - COMPARAÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA MENSAL PARA DIFERENTES VALORES DE COEFICIENTE DE SOMBREAMENTO.	130
FIGURA 4.85 - COMPARAÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA MENSAL PARA DIFERENTES CARACTERIZAÇÃO DE LAJE, INFILTRAÇÃO E METABOLISMO DE OCUPANTES.	131
FIGURA 4.86 - COMPARAÇÃO DAS DIFERENÇAS DO MODELO BASE E DO MODELO QUE EMPREGA COEFICIENTE DE SOMBREAMENTO MÁXIMO PARA O DOMO ZENITAL.	132
FIGURA 4.87 - COMPARAÇÃO DAS DIFERENÇAS DO MODELO BASE E DO MODELO QUE EMPREGA COEFICIENTE DE SOMBREAMENTO MÁXIMO PARA AS JANELAS.	133
FIGURA 4.88 - COMPARAÇÃO DAS DIFERENÇAS DO MODELO BASE E DO MODELO QUE EMPREGA LAJE SATURADA.	134
FIGURA 4.89 - EVOLUÇÃO DE USO FINAL DE ENERGIA ELÉTRICA SEGUNDO ORDEM DE MODELAMENTO....	135
FIGURA 4.90 - COMPORTAMENTO DO MODELO SUGERIDO.	137

Lista de Tabelas

TABELA 2-1 - FLUXOS DE CALOR PRIMÁRIOS DO MÉTODO STEM.....	29
TABELA 2-2 - TERMOS PRIMÁRIOS DE FLUXOS DE CALOR QUE SÃO CALCULADOS DIRETAMENTE DO MÉTODO STEM.....	29
TABELA 2-3 - TERMOS SECUNDÁRIOS DE FLUXOS DE CALOR DO MÉTODO STEM.....	30
TABELA 2-4 - CARACTERÍSTICAS PARA MONITORAÇÃO DE EDIFICAÇÕES.....	35
TABELA 2-5- CARACTERÍSTICAS DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO PARA O TRABALHO.....	36
TABELA 3-1 - IDENTIFICAÇÃO DOS CINCO NÍVEIS DE ABORDAGENS PRINCIPAIS.....	39
TABELA 4-1 - SC PARA VENEZIANAS EXTERNAS.	63
TABELA 4-2 - CARACTERÍSTICAS TERMOFÍSICAS DAS SEÇÕES DA LAJE.....	67
TABELA 4-3 - CARACTERÍSTICAS TERMOFÍSICAS DAS SEÇÕES DA LAJE SATURADA DE ÁGUA.....	72
TABELA 4-4 - VARIAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ALTERADA.....	74
TABELA 6-1 - DADOS TÉCNICOS DO REGISTRADOR SMARTREADER 3 PLUS.....	161
TABELA 6-2 - DADOS TÉCNICOS DO REGISTRADOR SMARTREADER 6 PLUS.....	161
TABELA 6-3 - DADOS TÉCNICOS DO REGISTRADOR DE TEMPERATURA JR.	162
TABELA 6-4 - DADOS TÉCNICOS DO REGISTRADOR SMARTREADER 3 PLUS.....	163

Lista de Abreviaturas, Siglas e Termos

ACR	fabricante de sistema de aquisição de dados.
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers.</i>
ASNA	Associação das Nações do Sudeste Asiático.
BDL	compilador do arquivo de entrada do DOE2-1E.
Calibração	correção das variáveis de entrada a partir de comparações entre desempenho real e simulado de uma edificação.
CEC	<i>California Energy Commision.</i>
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina.
<i>chiller</i>	resfriador de água, usado como jargão técnico.
consumo	energia que é efetivamente medida no período (kWh).
CPD	centro de processamento de dados.
<i>default</i>	valor atribuído automaticamente pelo programa à uma variável quando o usuário opta por não caracterizá-la.
demanda	é a média das potências instantâneas solicitadas pela unidade consumidora, integrada em intervalos de 15 minutos (kW).
DOE	<i>Department of Energy of USA.</i>
DOE-E.1E	programa de simulação térmica e energética empregado nessa dissertação.
ECONOMICS	subprograma do DOE-2.1E.
ELETOBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
ELETROSUL	Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A.
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A..
ERDA	<i>U.S. Energy Research and Development Administration .</i>
EXCEL	programa de planilha automática da empresa Microsoft.
<i>fan-coil</i>	jargão técnico para climatizador: equipamento que consiste de um ventilador e uma serpentina pela qual passa água gelada ou água quentes.
HVAC	abreviação para sistemas de climatização artificial (Heating, Ventilation and Ar Conditioning).

LabSOLAR	Laboratório de Energia Solar, do Depto. de Eng. Mecânica, UFSC.
LBL	<i>Lawrence Berkeley Laboratory</i> , Califórnia, USA.
LMPT	Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas de Materiais, do Depto. de Eng. Mecânica, UFSC.
LOADS	subprograma do DOE-2.1E que faz o cálculo de cargas térmicas.
MCT	método de calibração de modelos baseado na comparação de consumo de energia por uso final mensal.
memória de massa	termo empregado na concessionária de energia elétrica para designar os arquivos que contém as medições de consumo de energia realizadas a cada cinco minutos para clientes que se enquadram na tarifa energética do tipo horosazonal.
modelador	técnico que realiza a modelagem.
modelagem	ato de modelar, de realizar um modelo.
modelo	o modelo é uma abstração da realidade que reproduz as características de um caso real ou hipotético para uma forma inteligível ao programa de simulação.
NPC	Núcleo de Pesquisa em Construção, UFSC.
PC	microcomputador pessoal (personal computer).
PLANT	subprograma do DOE-2.1E que simula o sistema primário de condicionamento de ar.
PROCEL	Programa Nacional de Combate aos Desperdícios de Energia Elétrica.
PSTAR <i>retrofit</i>	Programa desenvolvido para avaliação de resultados do DOE-2. conjunto de reformas ou alterações realizadas com o objetivo de melhorar a eficiência energética de uma edificação.
SC <i>schedule</i>	coeficiente de sombreamento solar ou <i>shadding coefficient</i> . padrão de uso.
self-contained	condicionador de ar que contém todos os elementos necessários para resfriar o ar.
SERI	<i>Solar Energy Research Institute</i> .
STEM	método de calibração de modelos baseado na monitoração de variáveis da edificação e realizado em curto período de tempo (3 a 21 dias).

SYSTEMS	subprograma do DOE-2.1E que simula o sistema secundário de condicionamento de ar.
TBS	temperatura de bulbo seco.
TBU	temperatura de bulbo úmido.
TRY	é um conjunto de informações horárias (mais de 122.640) de 11 propriedades do clima como temperaturas de bulbo seco e úmido, pressão, fração de céu coberto por nuvens, indicadores de chuva e neve, velocidade e direção do vento, umidade, densidade entalpia, (<i>Test Referency Year</i>).
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina.
uso final	uso de energia classificada por finalidades, como de iluminação, de equipamentos e de condicionamento de ar.

Lista de Símbolos

A	área global da edificação	(m ²)
c	calor específico	(J/kg K)
CFM_{inf}	vazão de ar de infiltração	(m ³ /s)
c_{H_2O}	calor específico da água	(J/kg K)
C_o	capacidade térmica para o material seco	(J/m ² K)
$\cos \theta$	fator de potência	
d	densidade do material seco	(kg/m ³)
I	corrente	(A)
J_{int}	entalpia interna	(J/kg)
J_{ext}	entalpia externa	(J/kg)
M	massa da edificação	(kg)
\dot{Q}	vazão de água de projeto	(m ³ /h)
q	capacidade de refrigeração	(W)
$Q_{ar-condicionado}$	capacidade de refrigeração do ar-condicionado	(W)
Q_{inf}	fluxo de massa de ar	(kg/h)
T_e	temperatura de entrada de água gelada	(°C)
T_{ext}	temperatura externa	(°C)
T_{int}	temperatura interna	(°C)
T_s	temperatura de saída de água gelada	(°C)
U	transmitância térmica global da edificação	(W/m ² K)
V	tensão média das fases	(volt)
VA	potência aparente	(volt-Ampére)
W	potência ativa	(W)
ρ	densidade	(kg/m ³)
η	porosidade	(%)
$\delta T/t$	mudança de temperatura por unidade de tempo	(°C/s)

Lista de Modelos Usados

São apresentados a seguir os modelos elaborados para a dissertação, separados em grupos de abordagens.

GRUPO I

PLANILHA. É o primeiro modelo do edifício sede da Eletrosul. É baseado exclusivamente na planilha de coleta de dados apresentada no ANEXO A, e modela a geometria dos ambientes do prédio através de caracterização de coordenadas cartesianas.

PLANILHA-GS. Deriva do modelo anterior e não emprega a declaração de coordenadas geométrica para caracterizar os ambientes.

PLANILHA-GSLAJE. Deriva do modelo anterior e se diferencia exclusivamente pela caracterização da cobertura do prédio.

PLANILHA-LAJE. Modelo derivado do anterior em que se avalia a influência da modelagem geométrica dos ambientes através da declaração das coordenadas cartesianas.

PLANTA. Evolução do modelo PLANILHA-GSLAJE com correções decorrentes de análises de plantas arquitetônicas e relatório de potência nominal instalada.

PLANTA-EQ. Evolução do modelo anterior com correção da potência consumida por equipamentos.

NIVEL1. Evolução do modelo anterior, com declaração dos períodos de medição de energia elétrica de cada mês, o que corresponde ao dia de leitura do consumo para tarifação mensal.

GRUPO II

AUDITORIA. Evolução do modelo NIVEL1 com caracterização dos ambientes e regulagem de temperatura interna baseado em auditoria.

MEMMASSA. Evolução do modelo anterior, com correção dos padrões de uso horários, baseado em dados de memória de massa.

GRUPO III

USOFINAL. Evolução do modelo anterior, com correção dos padrões de uso, baseado em monitoração de consumo de energia por uso final.

USOFINAL-AC. Evolução do modelo anterior, com correção da caracterização dos equipamentos do sistema de refrigeração, isto é, bombas hidráulicas e climatizadores.

GRUPO IV

COP. Evolução do modelo USOFINAL-AC, com correção das eficiências dos resfriadores de líquido.

COP-ALT. Modelo derivado do anterior em que emprega *defaults* para eficiências dos resfriadores do tipo centrífugo, enquanto que a eficiência do resfriador alternativo é a estimada em campo.

COP-CENT1. Modelo derivado do COP em que emprega *defaults* para eficiências dos resfriadores do tipo centrífugo 2 e alternativo, enquanto que a eficiência do resfriador centrífugo 1 é a estimada em campo.

COP-CENT2. Modelo derivado do COP em que emprega *defaults* para eficiências dos resfriadores do tipo centrífugo 1 e alternativo, enquanto que a eficiência do resfriador centrífugo 2 é a estimada em campo.

ALT-CENT1. Modelo derivado do COP em que emprega estimativas de eficiência de campo para caracterizar os resfriadores do tipo centrífugo 1 e alternativo, enquanto que o do tipo centrífugo 2 não é excluído do modelo.

COP-CENT. Modelo derivado do COP em que caracteriza os resfriadores centrífugos com a mesma eficiência e com o valor estimado em campo para o resfriador centrífugo 1, enquanto que a eficiência do resfriador alternativo é a estimada em campo.

GRUPO V

COP-CENT. Emprega o último modelo da abordagem anterior, assumindo que ambos os resfriadores de líquido do tipo centrífugo têm a mesma eficiência do número 1.

GERAL

SUGERIDO. Evolução do modelo COP-CENT com correções de densidade de carga de equipamentos por área.

Resumo

Esta dissertação reúne, avalia e propõe métodos de determinação e calibração de modelos de edificações para simulações térmicas e energéticas. Seu conteúdo é recomendável para profissionais que atuam no diagnóstico térmico e energético de edificações, em projetos de edificações e de sistemas de condicionamento de ar e usuários de programas de simulação termoenergética de edificações.

Os vários modelos abordados são abstrações da realidade que representa as características de um edifício. A partir dessa premissa, testa-se a fidelidade de vários modelos desenvolvidos para com uma referência utilizando o programa de simulação DOE2-1.E frente a dados reais de um edifício de Florianópolis, o edifício sede da Eletrosul (30.000 m² de área construída).

Os modelos são obtidos através de vários níveis de entendimento do edifício. A calibração, principal elemento discutido no trabalho, consiste na correção ou ajuste dos valores atribuídos às características da edificação representadas no modelo, identificadas como variáveis de entrada. As técnicas usadas são reunidas em cinco grupos de abordagens e classificadas segundo a complexidade do modelo. A primeira reproduz uma situação em que o modelador faz a simulação à distância. A segunda consiste de uma calibração do modelo anterior a partir de uma rápida auditoria. A terceira emprega calibrações baseadas em medições de uso final de energia elétrica. A quarta emprega estimativas de eficiências dos resfriadores de líquido. A quinta avalia a envoltório do edifício.

À medida que os métodos são aplicados, observam-se importantes variações do comportamento dos modelos, como também limitações e potencial de aplicação das técnicas de calibração. Evidencia-se a importância do monitoração de cargas de consumo por uso final e a influência da eficiência do sistema de condicionamento de ar. Com base nos resultados, recomenda-se uma planilha de coleta de dados a distância, e rotinas de abordagem que otimizem a modelagem.

Palavras-chave: calibração, monitoração, energia, edificações.

Abstract

The energy consumption management in buildings benefits its owners, energy companies and the general society, showing a high potential to apply energy conservation policies.

This thesis analyses methods to reproduce the thermoenergetic behavior of an actual building, using the building energy analysis program DOE-2.1E, with physical models to represent it. Methods to build and calibrate models are classified in accordance with levels of details, resulting in five different groups.

The first group uses remote modeling and the second audits with limited instrumentation. The third group deals with monitored end-use electrical energy consumption data, the fourth estimates the efficiency of air-conditioning systems and the fifth corrects the building envelope. The methods performance is evaluated by comparing electricity consumption of the headquarters of Eletrosul (Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A.) building, in Florianópolis-SC.

The models showed a high sensitivity to the methods and also to the limitations and capabilities of calibration techniques. The importance of monitoring end-use data and the influence of efficiency of air-conditioning systems are noticed. Based upon the results, worksheets of data remotely collected and routines with approaches are recommended to optimize the building modeling.

1.Introdução

O aumento do consumo de energia elétrica é uma tendência nacional decorrente do crescimento econômico do país e dos hábitos dos usuários que, combinado com os poucos investimentos de expansão da rede geradora de energia, culmina com o déficit no fornecimento de energia elétrica. Entretanto, investimentos na ampliação do fornecimento de energia talvez não consigam atender à demanda em tempo hábil, consumirão enormes recursos financeiros e causarão transformações indesejáveis nos ecossistemas que acolherem as novas usinas de energia.

Paralelamente, a abertura do mercado nacional tem estimulado um aumento da eficiência dos processos industriais acompanhado pelo setor comercial que segue a tendência de investimento em programas de melhorias dos seus serviços. Com a especialização das tarefas o ser humano recebe mais atenção e suas condições de trabalho passam a ser criteriosamente controladas, como iluminação e climatização artificial. O trabalhador incorpora estas mudanças e as leva para seu lar e a toda a sociedade aumenta sua dependência de energia elétrica.

A exemplo de outros países que passaram por crises energéticas, todos são convocados a reavaliar o emprego da energia elétrica. Profissionais de diferentes áreas se voltam para a área de conservação de energia e vislumbram seu potencial, e assim emergem profissionais com formação multidisciplinar que atuam no diagnóstico de uso de energia em campo e em projetos. Para auxiliá-lo, são criadas ferramentas adequadas à nova realidade, como os equipamentos de monitoração de energia consumida e os programas computacionais que prevêm o consumo de energia de edificações e de indústrias.

As edificações se tornam um dos principais objetos de análise destes novos profissionais devido à sua participação no consumo total de energia do país. Estão presentes nos setores comercial, industrial e residencial, e são estrategicamente interessantes para análises de redução de energia devido às semelhanças que apresentam entre si, viabilizando a generalização de medidas de redução de consumo de energia e aumentando a abrangência dos resultados.

Os programas computacionais também se tornam referências em pesquisas e aplicação de medidas de redução de consumo. O baixo custo, a facilidade de manipulação e a rapidez de processamento desse tipo de ferramenta amplia os estudos a

medida que permite diagnosticar um caso real modelado no programa (o modelo) e avaliar o seu desempenho quando submetido a hipotéticas alterações do seu envoltório, do seu uso, emprego de iluminação e de equipamentos, do seu sistema de condicionamento de ar e da sua contração de energia. Com a possibilidade de criar inúmeras alterações que torne a edificação mais eficiente energeticamente, é possível selecionar a(s) reforma(s) e avaliar o retorno financeiro do investimento proporcionado pela economia gerada.

O procedimento básico de simulação consiste em reproduzir as características de uma edificação numa forma inteligível ao programa, representadas pelas variáveis de entrada. São centenas de variáveis que correspondem à forma geométrica da edificação, aos elementos construtivos empregados e às suas propriedades termofísicas e radiantes, aos sistemas de iluminação e climatização artificial, aos equipamentos, e às rotinas de uso. Uma vez definido o modelo, é simulado seu funcionamento para as 8.760 horas do ano com condições climáticas estatísticas ou reais (também horárias). Os resultados de uma simulação permite avaliar, entre outros, evoluções horárias de fluxos de calor, desempenho de elementos do sistema de condicionamento de ar, consumo de energia por uso final, relatórios mensais e índices de desempenho energético.

Além do algoritmo, o principal motivo de discordância entre o modelo e a realidade advém dos valores declarados às variáveis de entrada que são, na maioria das vezes, de responsabilidade do usuário. Os erros das variáveis podem estar associados à incerteza (ou precisão) do valor medido ou, com mais frequência, à forma pela qual foi obtida. Como a obtenção de valores mais precisos das variáveis de entrada demandam mais recursos, há uma tendência em relacionar a melhora de um modelo com o aumento de seu custo. Entretanto, o aumento de custo de um modelo nem sempre se traduz na melhora de sua precisão, acentuando a importância dos métodos de calibração.

A calibração consiste em comparar dados de desempenho real com os de simulação com o objetivo de corrigir as variáveis de entrada para melhorar sua fidelidade. Mais do que aumentar a precisão, seu uso permite iniciar o estudo de casos de forma parcimoniosa e seja melhorado conforme as necessidades e recursos disponíveis. Como os modelos são melhorados de forma gradativa, os recursos são justificados pelas deficiências evidenciadas no modelo e por suas influências sobre os resultados.

1.1. Panorama Energético

A racionalização do emprego de energia é vista pelos principais especialistas do setor, como a única maneira do país contornar o déficit do setor energético, que se agrava com os primeiros sinais de estabilização da economia e perspectiva de retomada de crescimento e desenvolvimento industrial. Observa-se alterações no consumo de energia, como reflexo do Plano Real, gerando uma expansão do número de consumidores e de sua capacidade de absorção de bens. A curto e médio prazo, um aumento de demanda anual superior a 5% ao ano ameaça seriamente colapsar o setor, segundo MATOS (1994).

Este panorama justifica o índice geral de crescimento de demanda de energia elétrica registrado de 6,9% no período compreendido entre fevereiro/1995 e fevereiro/1996, segundo dados da ELETROBRÁS (1996). O Estado de Santa Catarina confirma a tendência de crescimento, com aumento de 15,0% no setor comercial para o mesmo período. Seu crescimento nos últimos anos foi de 10,7% em 1993, 8,3% em 1994, ilustrados na Figura 1.1.

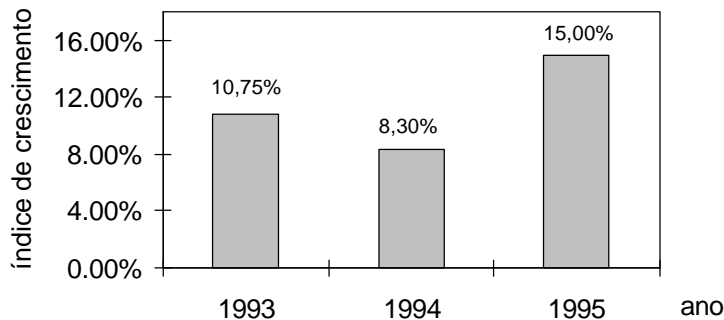


Figura 1.1 - Crescimento do consumo elétrico do setor comercial em SC.

Fonte: ELETROSUL, Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos, fevereiro de 1996.

Segundo estimativas do PROCEL (Programa de Combate aos Desperdícios de Energia Elétrica), o ano de 1995 registrou perdas de energia elétrica, associadas ao uso final, de 20 TWh/ano, distribuído nos seguintes setores: indústria (60%), comércio (21%), residência (15%), e setor público (4%), totalizando R\$1,5 bilhões. Entretanto, estima-se que a implantação de medidas de conservação de energia no lado da demanda pode proporcionar uma economia de 11,2% da energia consumida (75 TWh ou US\$30 bilhões) até o ano de 2015.

1.2. Consumo de Energia em Edificações

As edificações têm um lugar de destaque no consumo total de energia elétrica. A exemplo das edificações norte-americanas, são responsáveis por 42% do consumo de energia total anual, totalizando \$210 bilhões/ano: \$120 bilhões são empregados em edificações residenciais, \$25 bilhões em edificações públicas não residenciais, e \$65 bilhões em edificações privadas (KATS et al. 1996).

O uso final da energia elétrica em edificação está associado sobretudo ao seu emprego. Enquanto as edificações do setor residencial creditam os títulos de maiores consumidores de energia elétrica a geladeiras, chuveiros elétricos e sistemas de iluminação, as edificações do setor comercial (lojas de varejo, mercearias, escritórios e *shopping centers*) creditam os maiores percentuais de consumo de energia elétrica à iluminação e à climatização artificial, segundo GELLER (1990). Suas participações em edificações empregadas para escritórios, para lojas de varejo e a média do setor comercial estão apresentadas na Figura 1.2.

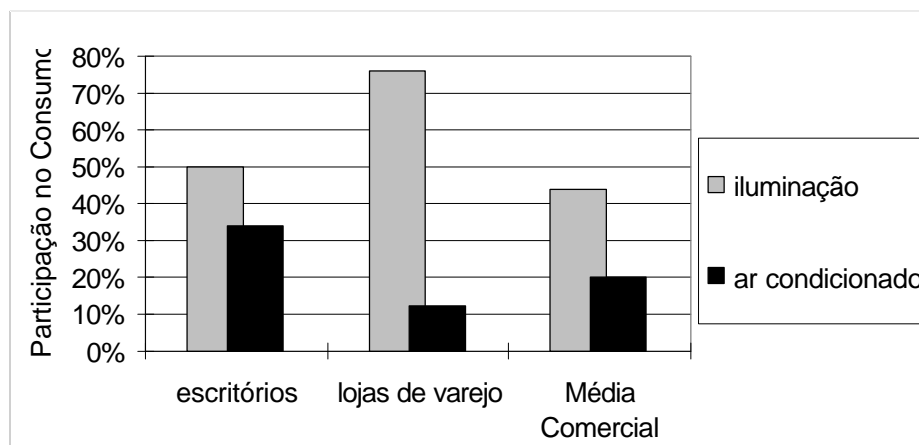


Figura 1.2 - Principais consumidores de energia elétrica do setor comercial e para escritórios e lojas de varejo.

Fonte: GELLER (1990).

A análise de onze edificações públicas de Florianópolis realizada por TOLEDO (1995) confirmam os maiores usos finais de consumo de energia elétrica: 50% do consumo médio de energia elétrica no período úmido¹ é creditado ao ar condicionado e

¹ Segundo a Portaria DNAEE nº 1.233, de 15.10.93 o período úmido tem cinco meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de dezembro de um ano e abril do ano

32% no períodos seco², enquanto a iluminação participa com 35% do consumo médio de energia elétrica no período úmido e 47% no período seco.

1.3. Medidas de Eficiência Energética em Edificações Comerciais

A redução significativa do consumo de energia elétrica em edificações do tipo comercial é resultado da interação da arquitetura com os principais usos finais de energia: iluminação e condicionamento de ar. A expectativa desta redução varia segundo a abordagem, devendo ocorrer tanto em nível de projeto como em nível de reformas de edificações existentes (*retrofits*). Segundo dados do *site* da ELETROBRÁS/PROCEL (1996) para o Brasil, há um potencial de redução de até 30% do total de energia consumida em edificações. Quando implementados durante o projeto, a expectativa de economia pode chegar a até 50%. Estima-se ainda que uma economia de 3 GWh/ano pode ser obtida mediante o incentivo à construção de prédios supereficientes, à geração de relatórios sobre tipologias construtivas e de uso do prédio, à implantação de estratégias para combate ao desperdício de energia nos prédios, à divulgação de estudos de caso, ao emprego de programas de simulação termoenergética e à obtenção de índices mínimos necessários à regulamentação da Lei de Eficiência Energética para prédios em uso.

DERINGER et al. (1992) apontam para resultados concretos de adoção de medidas conservativas. Medidas que produziram uma redução do consumo de energia total de 20% a 40% nos países do primeiro mundo foram estendidas para os países do sudeste asiático pertencentes à Associação das Nações do Sudeste Asiático (ASNA), formada por Filipinas, Malásia, Singapura, Indonésia e Tailândia. Inicialmente apresentaram um potencial de redução de 19% a 24%. Posteriormente, observou-se que no decorrer de suas implementações, o potencial de redução do consumo de energia elétrica aumentou globalmente: 10% a curto prazo, 20% à médio prazo (5 a 10 anos), e ganhos superiores a 40% à longo prazo.

seguinte. O nome úmido vem do fato de ser o período de chuvas no rio que aciona as turbinas da usina hidrelétrica fornecedora de energia.

² Segundo a mesma portaria anterior, o período seco tem sete meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de maio a novembro e está associada às estiagens no rio que aciona as turbinas da usina hidrelétrica.

Além das edificações do setor comercial, há também as edificações que apresentam comportamento semelhante no setor industrial, como fábricas com alto grau de sofisticação (produção de equipamentos eletrônicos e *software*). O trabalho de AKBARI et al. (1992), realizado no estado da Califórnia (USA), aponta para reduções da ordem de 50% da energia consumida.

1.4. Uso de Programas Computacionais na Avaliação das Medidas de Redução de Consumo de Energia

Existem diversas medidas de conservação de energia elétrica passíveis de implementação em edificações. Compreendem desde práticas simples como desativar lâmpadas, até práticas com alto grau de responsabilidade, como instalação de sistemas de termoacumulação e automação do sistemas de resfriamento do prédio. Frequentemente são combinadas entre si, gerando inúmeras soluções para a redução do consumo de energia elétrica.

As medidas selecionadas devem ser respaldadas por critérios técnicos, como a viabilidade de sua execução e o benefício que produz. Avalia-se a sua vida útil, o custo de implementação e o período necessário para o ressarcimento dos investimentos a partir da economia proporcionada (*pay back*).

O custo de implementação da medida é facilmente obtido, entretanto o cômputo da energia poupada é relativamente complexo. Qualquer mudança nas cargas térmicas geradas internamente (iluminação, metabolismo de ocupantes, modo de operação dos equipamentos internos, etc) e das cargas térmicas externas (insolação, infiltração e condução de calor) refletem no consumo do ar condicionado, que também interage com as condições climáticas (a eficiência de um resfriador de líquido depende também das condições psicrométricas externas). Da mesma forma, o resultado de ganhos obtidos por medidas combinadas é diferente do somatório de ganhos obtidos para cada medida, devido às interações que ocorrem.

Para proceder a análise de dezenas de opções com menor custo e com menor prazo, o emprego de programas computacionais de simulação termoenergética é mais indicado. Possibilita analisar uma edificação e otimizá-la em diferentes níveis de complexidade. É possível escolher o programa que mais se adapte às condições do usuário, pois existem vários e com diferentes níveis de preços de aquisição, inclusive versões gratuitas. Alguns dos programas mais familiares ao grupo de pesquisa na UFSC

são o DOE-2.1E e suas versões para PC como o VISUAL-DOE e o POWERDOE, o ESP-r, o BLAST e sua versão PC, o PC-BLAST, o COMFIE, o CASAMO-CLIM, o THEDES, o ARQUITROP e o ARCHIPAK.

1.5. Escolha do Programa

A UFSC tem acolhido estudos de simulação termoenergética de edificações há mais de 15 anos. As primeiras pesquisas partiram nos laboratórios do Departamento de Engenharia Mecânica e consistiram na criação de algoritmos que modelassem os fenômenos de transferência de calor, como o desenvolvido por ABREU (1986), no laboratório SITERPA (atual LMPT). Da mesma forma o NRVA também procura gerar seus algoritmos próprios para determinação de cargas térmicas para projeto de sistemas de condicionamento de ar. A partir da década de 90 houve um maior intercâmbio entre os laboratórios da UFSC com os de outros países, levando ao estudo de programas desenvolvidos em outros laboratórios. Com a necessidade de estabelecer um programa padrão para iniciar pesquisas de análises termoenergéticas de edificações nacionais visando implantação de medidas de redução de consumo de energia, foi observado os avanços do programa norte-americano que se baseia no DOE-2. A partir de contatos pessoais com Roberto Lamberts, esse se tornou o responsável pelo DOE-2 *Resource Center* para a América do Sul. Suas principais incumbências são usar, divulgar e contribuir para seu melhoramento. Em 1997, as estimativas do departamento de energia americano indicaram que o uso do *software* DOE-2 havia proporcionado uma economia no ano de \$ 2,7 bilhões de dólares e apresentado uma total acumulado desde seu uso de \$ 12 bilhões de dólares. Enquanto isso estima-se que o custo de desenvolvimento do programa até o presente foi de \$ 26 milhões.

1.6. O Programa DOE-2.1E

Os programas computacionais de simulação de comportamento energético de edificações surgiram na década de 70 para auxiliar a concepção de projetos arquitetônicos durante as primeiras fases de projeto. Em 1976, o *U.S. Energy Research and Development Administration* (ERDA) e *California Energy Commission* (CEC) concluíram que os programas de simulação eram inadequados para o meio não acadêmico. Decidiram pelo desenvolvimento de um programa de domínio público e o projeto foi estabelecido entre vários laboratórios: *Lawrence Berkeley Laboratory* (LBL),

Argonne National Laboratory e Los Alamos National Laboratory e a empresa *Consultants Computation Bureau*. O projeto foi gerenciado pelo LBL.

O primeiro resultado do programa foi apresentado em 1977. Porém, com o fim dos recursos dos patrocinadores, o *U.S. Department of Energy* (DOE) assumiu o suporte do desenvolvimento e apresentou a versão DOE-1, em 1978. Desde então, as versões do DOE tem sido continuamente revisadas e aprimoradas através dos esforços do *Simulation Research Group* do LBL, e de vários outros pesquisadores associados. O programa passou a ser largamente usado como ferramenta de projeto de edificações, em projetos de conservação de energia e desenvolvimento de padrões de uso de energia.

O DOE-2.1E é composto de cinco módulos: um decodificador do arquivo de entrada e quatro subprogramas. Estes são executados sequencialmente, com relatórios subdivididos por módulos, sendo que a saída de um se torna a entrada do próximo, conforme Figura 1.3. Os módulos são:

- A) BDL. Analisa o arquivo compilado pelo usuário empregando biblioteca do próprio programa e o traduz para o código do computador.
- B) LOADS. Calcula as cargas térmicas horárias internas e externas do edifício e das zonas. Os cálculos são baseados em aproximações de condições dinâmicas de regimes estacionários: cada espaço é considerado a uma temperatura constante declarado no modelo.
- C) SYSTEMS. É composto pelo sistema secundário³ de climatização artificial. Compreende a caracterização de dutos, climatizadores do tipo *fan-coil*, do tipo gabinete ou “*self-contained*”, perdas em tubulação de água gelada, controles de temperatura e umidade, e rotinas de funcionamento.
- D) PLANT. Reproduz o sistema primário⁴ de climatização artificial, composto por resfriadores de líquido (conhecidos no jargão como *chillers*), caldeiras, bombas hidráulicas e torre de arrefecimento.
- E) ECONOMICS. É o quarto e último subprograma: calcula a conta de energia segundo os procedimentos tarifários em vigor, ditados pela concessionária de energia elétrica.

³ O conceito de sistema secundário tem origem histórica em projetos de sistemas de ar condicionado. Corresponde ao sistema de distribuição de ar tratado.

⁴ De mesma origem do conceito anterior, esse sistema corresponde aos equipamentos que resfriam e aquecem a água que serve ao sistema secundário.

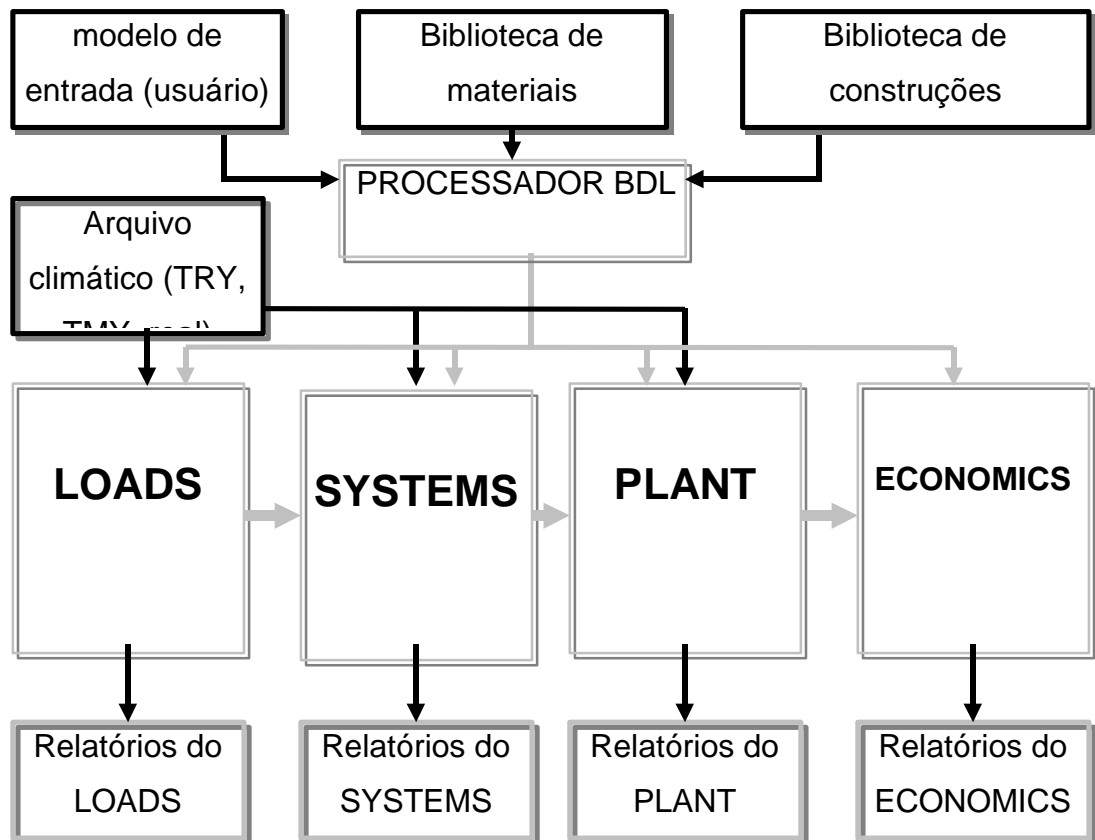


Figura 1.3 - Fluxograma simplificado do DOE-2.1E.

1.7. Calibração de Modelos para o DOE-2.1E

A simulação do comportamento de uma edificação se inicia na representação do objeto de estudo, tal qual um modelo. O modelo é uma abstração da realidade, compilado segundo a linguagem do DOE-2.1E, e formado por centenas ou milhares de variáveis. Cada variável quantifica ou caracteriza uma característica da edificação, desde propriedades do material empregado na sua construção, à forma de operação do ar-condicionado. Cada valor declarado também traz consigo um erro associada à fonte de consulta, à sua medição, ou às considerações, como as declarações das espessuras das camadas do piso.

A geração de modelos também é influenciada por fatores inerentes ao analista, como sua subjetividade de interpretação do caso real, a impossibilidade de obtenção de uma variável, ou ainda como particularidades dos métodos de coleta de dados e técnicas de construção do modelo. Entretanto, a principal causa de diversidade entre modelos de um mesmo caso é a combinação de dois fatores manipulados pelo analista, apresentados

por CORSON (1992) e HABERL et al. (1993), que consiste na relação entre a produção de resultados com maior exatidão possível e a produção de resultados com o menor custo possível. Basicamente se parte do princípio que quanto maior o nível de detalhamento de um caso mais fidedignos são o modelo e os resultados. Entretanto, maiores são os custos e o tempo demandado.

Como o compromisso entre precisão e custo do modelo advêm do grau de responsabilidade do trabalho, tempo e recursos disponíveis para a execução do trabalho, cabe ao analista escolher a forma de abordagem, respaldado por sua experiência, ou pelas poucas referências existentes em bibliografia. Dessa forma, os trabalhos que exploram a qualidade dos resultados gerados a partir de diferentes níveis contribuem significativamente para decidir as abordagens. Cruzando essas informações, torna-se possível se aproximar do ponto ótimo entre o detalhamento durante a compilação do arquivo de entrada do DOE-2.1E e a precisão esperada para a avaliação de potencial de redução de consumo de energia.

Diante das influência que comprometem a fidelidade do modelo, e diante das necessidades de precisão e custo do modelo, é necessário um método que permita controlar esses fatores: a calibração de variáveis declaradas no modelo. Os trabalhos KAPLAN et al. (1990), BRONSON et al. (1992), HABERL et al. (1993), e KORAN et al. (1993) a citam como indispensável para garantir a confiabilidade de projeções de medidas de redução de consumo de energia através de simulações. O método se baseia essencialmente na comparação de dados reais obtidos por monitoração com dados gerados obtidos na simulação.

1.8. Objeto de estudo

Como os modelos são avaliados a partir da comparação das respectivas performances com um caso real, procedeu-se à escolha de uma edificação como objeto de estudo. Entre as diversas edificações disponíveis para o estudo, optou-se pelo edifício sede da Eletrosul, pelos seguintes motivos:

- rotinas de uso típicas de edificações comerciais de escritórios, segundo a Figura 1.4.

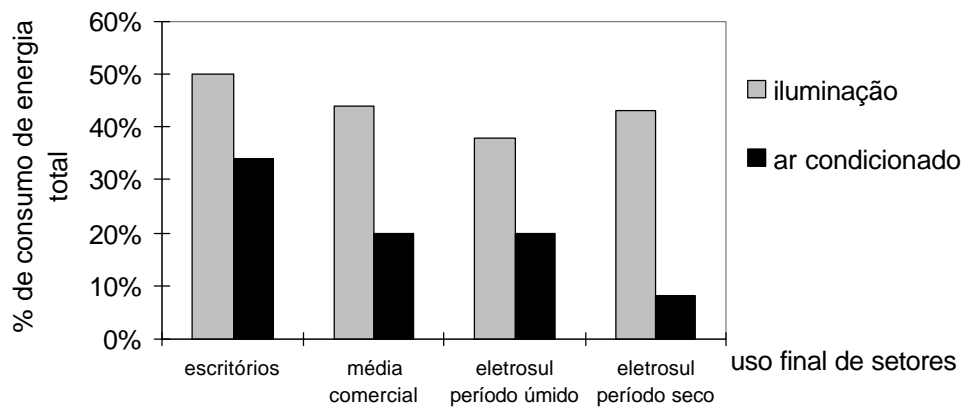


Figura 1.4 - Uso final de energia do edifício da Eletrosul, de TOLEDO (1995)

- sistema de climatização artificial existente, propício para a abordagem em questão;
- disponibilidade de informações e assessoria técnica;
- ausência de obstáculos externos;
- localização geográfica;
- posição da administração da Eletrosul quanto a esse tipo de estudo.

O edifício está localizado a menos de 500 metros da estação responsável pela monitoração das variáveis climáticas, na UFSC, conforme Figura 1.5. Apresenta cinco pisos distintos: subsolo, intermediário, térreo, primeiro e segundo pisos (os três últimos acima do solo). Sua fachada frontal tem a orientação de 118° em relação ao norte geográfico. Sua construção, concluída em 1979, combina elementos em concreto aparente e vidros fumês, com proteção solar externa, conforme Figura 1.6, Figura 1.7 e Figura 1.8.

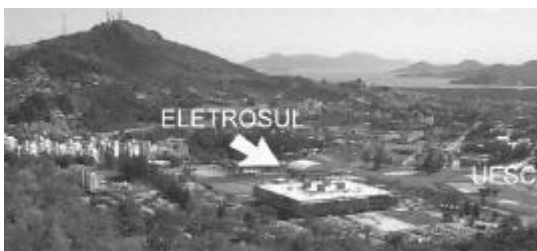


Figura 1.5 - Edifício sede da Eletrosul, Florianópolis, vista aérea



Figura 1.6 - Detalhe da fachada frontal.



Figura 1.7 - Detalhe da fachada lateral.



Figura 1.8 - Detalhe dos fundos.

Há no interior da edificação um átrio central, servido por um domo zenital (Figura 1.9 e Figura 1.10), que permite combinar a luz natural com a artificial.

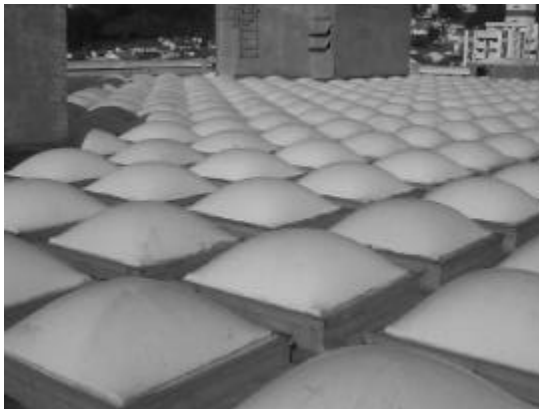


Figura 1.9 - Detalhe do conjunto do domo zenital.



Figura 1.10 - Detalhe do átrio central e da iluminação natural.

1.9. Estrutura da Dissertação

Conforme pôde ser apreciado nesta introdução, o domínio de técnicas de calibração de modelos é indispensável para proceder simulações de comportamentos térmico e energético confiáveis e promover a implantação de medidas de conservação de energia. O segundo capítulo, apresentado a seguir, faz uma revisão bibliográfica dos principais trabalhos publicados que abordam metodologias de modelagem, de monitoração de variáveis de edificações, e de técnicas de calibração de variáveis dos

modelos. O terceiro capítulo apresenta a metodologia de abordagem do trabalho. O modelo, representação de uma edificação real, é questionado quanto à sua fidelidade. São levantadas formas de construí-lo e de calibrá-lo, que são ordenadas segundo o nível de profundidade, e classificadas em cinco grupos:

- modelagem com informações obtidas à distância (sem entrar no prédio) e avaliação de consumo mensal de energia elétrica;
- modelagem com auditoria e avaliação de dados horários de consumo de energia baseado em memória de massa;
- monitoração das cargas de consumo elétrica por uso final;
- estimativa de eficiência de ar-condicionado;
- calibração do envoltório da edificação.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos com a execução dos métodos. Além das abordagens dos cinco grupos, também são incorporadas técnicas alternativas para esclarecimento e complementação dos métodos, decorrentes de seus próprios resultados.

O quinto e último capítulo apresenta as conclusões pertinentes a cada grupo de abordagem e as conclusões gerais. Baseado nas conclusões, propõe-se um roteiro para proceder à modelagem de uma edificação. Ao final, são propostos temas de trabalhos futuros.

2.Revisão Bibliográfica

Há essencialmente duas formas de predição do impacto de adoção de medidas de combate ao desperdício de energia em edificações: a monitoração de uso final de energia em longos períodos de tempo e a simulação numérica do seu comportamento termoenergético. Com os avanços da informática o uso de programa de simulação tem se aproximado cada vez mais da precisão de resultados proporcionados pelos métodos de monitoração, com duas vantagens a mais: o custo menor e a rapidez dos resultados. Entretanto, aborda muitas variáveis e há uma dependência significativa em relação aos recursos humanos envolvidos, especialmente do usuário do programa que modela a edificação e do analista que avalia os resultados.

A seguir, são apresentados os fundamentos sobre a modelagem de edificações e as metodologias que buscam aprimorar a fidelidade dos modelos.

2.1.Modelos

Os modelos são abstrações de edificações reais ou de projetos de edificações, compostos por centenas de variáveis que visam reproduzir as características da edificação e seu comportamento em relação a determinados fenômenos. São apresentados sob a forma de arquivos de entrada de programas computacionais, orientados a análises de caráter termoenergético.

São inúmeros os fatores que influenciam a escolha e quantificação das variáveis, e que tornam um modelo passível de inúmeras combinações para um mesmo caso. Essa variabilidade do modelo implica em diferentes graus de fidelidade para com o caso real, gerando uma imprecisão nos resultados.

A simulação do comportamento térmico da edificação a partir dos modelos é provavelmente a melhor maneira de se compreender a operação de sistemas de climatização artificial, segundo KAPLAN Engineering (1991). Ao contrário de outros usos finais que podem ser levantados a partir de observações no local (como o uso de iluminação), o uso final de condicionamento de ar implica no cálculo de muitos fenômenos térmicos que somente podem ser realizados satisfatoriamente com o uso de algoritmos e de processadores computacionais recentes.

2.1.1.Limitações da modelagem

O processo de modelagem estabelece relações entre as características da edificação e as funções do programa de simulação, ou seja, os programas apresentam entradas que devem ser preenchidas, a partir da análise do modelador (usuário do programa que modela o edifício), frente ao objeto de estudo. Esta tarefa é suscetível a muitas influências, associadas a um dos três grupos listados a seguir.

- A. Influência de defaults. Para agilizar o processo de modelagem e minimizar os erros do usuário, os programas buscam reduzir o número de variáveis de entrada, assumindo valores automaticamente, conhecidos por defaults. Os defaults são valores baseados em características que se repetem com frequência e geralmente estão associados à uma variável de entrada. A exemplo do sistema de ar condicionado, o usuário escolhe o tipo de sistema e o programa se encarrega de atribuir as características de eficiência, dimensões de torre de arrefecimento e bombas hidráulicas.
- B. Limitações do programa. Frequentemente o modelador sente dificuldades em traduzir determinadas características da edificação devido às limitações do programa, como geometrias complexas.
- C. Limitações de dados de entrada. O programa apresenta uma seqüência de variáveis de entrada que deve ser preenchida pelo usuário. Entretanto, nem sempre os dados estão disponíveis ou apresentam confiabilidade.

Logo, a modelagem está sujeita a centenas de hipóteses simplificadoras assumidas ora pelo usuário, ora pelo programa. Conforme KAPLAN Engineering, (1991), há uma série de observações:

- as suposições são inevitáveis;
- uma modelagem pouco detalhada está associada a um grande número de hipóteses;
- uma das tarefas do modelador é empregar informações auxiliares como dados de normas técnicas (ASHRAE, NBR) para reduzir o número de hipóteses e torná-las mais confiáveis;
- as hipóteses podem e devem ser mudadas à medida que se aumenta o entendimento dos fenômenos associados à edificação;
- uma vez que os resultados das simulações refletem mais o modelo do que o objeto analisado (a edificação), o modelador deve documentar claramente as hipóteses assumidas.

2.1.2.Estrutura do Modelo Segundo o DOE-2.1E

O DOE-2.1E é composto de cinco módulos: um decodificador do arquivo de entrada e quatro subprogramas. Estes são executados seqüencialmente, sendo que a saída de um se torna a entrada do próximo. As informações apresentadas a seguir foram extraídas dos manuais: DOE-2 Reference Manual, versão 2.1D (1989); DOE-2 Supplement (1993); DOE-2 Supplement (1993); DOE-2 Basics, versão 2.1E (1994).

O BDL é o primeiro módulo e atua como decodificador (linguagem de descrição da edificação): compila o arquivo escrito pelo usuário para o código do computador. Os quatro módulos são apresentados a seguir, na seguinte ordem: LOADS, SYSTEMS, PLANTS, e ECONOMICS.

LOADS

O LOADS é o primeiro subprograma e tem como função calcular as cargas térmicas de uma edificação em intervalos de uma (1) hora. O princípio de cálculo emprega o fator de resposta, sendo que cada espaço é considerado a uma temperatura constante, especificada pelo usuário, ou seja, esse módulo negligencia as variações de temperatura interna no cálculo de cargas térmicas. Somente com a execução do módulo SYSTEMS são consideradas as variações de temperatura interna, haja visto que esse cálculo implica na caracterização de um sistema secundário de condicionamento de ar. Os resultados do LOADS permite avaliar os picos de cargas térmicas, cargas de projeto e cargas horárias nos espaços, impostas pelo clima e geração interna de calor. No LOADS são considerados dados como tamanho, localização, orientação geográfica, construção e materiais dos componentes da edificação.

Modelagem da Forma da Edificação

A reprodução da geometria da edificação é obtida da análise dos projetos arquitetônicos e croquis da edificação, empregando a declaração das coordenadas de um dos vértices de cada parede e de suas dimensões. Para o caso específico do DOE-2.1E, o arquivo de entrada é editado num editor de texto e analisado no programa DRAWBDL, exemplificado na Figura 2.1. Nessa figura, o vazio entre o segundo e último andar corresponde a um recurso do DOE-2.1E, que multiplica o segundo andar e agiliza a compilação do arquivo.

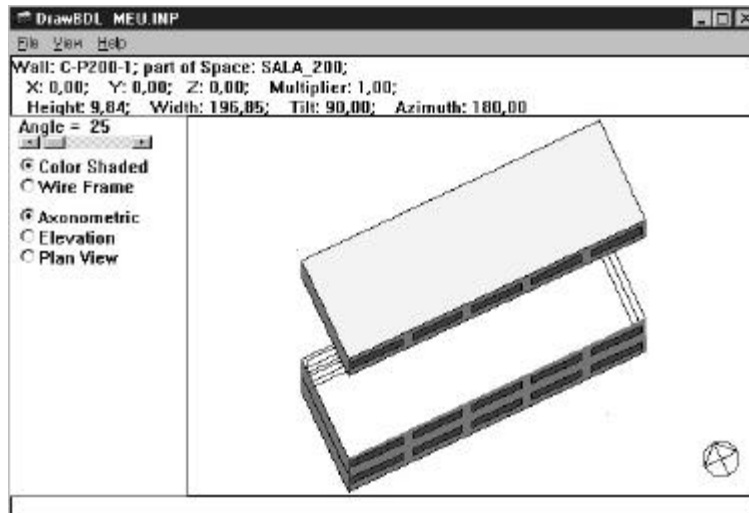


Figura 2.1 - Imagem obtida de um arquivo de entrada, pelo programa DRAWBDL.

A caracterização de cada zona pode atingir níveis complexos, extrapolando as capacidades do programa e mesmo do usuário. Para otimizar o zoneamento, são realizadas simplificações como o agrupamento de zonas com características similares (sob o ponto de vista de controles de temperatura e umidade, usos de iluminação, equipamentos, e ocupação).

Caracterização de Usos

As características associadas às formas de ocupação de um edifício são definidas nos grupos de variáveis conhecidas como “padrões de uso” ou *schedules*. São declarados os valores de controle de temperatura de resfriamento, de aquecimento, de número de ocupantes, de lâmpadas e de equipamentos ligados, de infiltração de ar, de renovação de ar externo, de ventiladores ligados e de resfriadores de água, a cada hora do ano e para cada tipo de zona diferente.

A forma tradicional de representação das formas de uso é descrita nos manuais de referências do DOE-2.1E. O procedimento de caracterização de cargas de consumo consiste em adotar um valor de referência e referenciá-lo através de frações. Dessa forma, as cargas horárias são dadas em décimos. Para representar uma carga horária correspondente a 10% da carga máxima identificada, assume-se o valor 0,10 e assim por diante. A Figura 2.2 representa graficamente a forma de uso do edifício durante um dia típico. As semanas são modeladas a partir de um conjunto de dias típicos, obtidos de referências como auditoria, dados de consumo de energia horário e relatórios de

ocupação horário do prédio. O mesmo raciocínio se aplica aos meses, que são modelados a partir das semanas típicas. Ou seja, são criadas semanas que representam dias úteis e que representam férias coletivas. Frequentemente é adotado perfis de cargas classificados em grupos com comportamentos semelhantes, a exemplo de dias úteis, fins de semana e feriados.

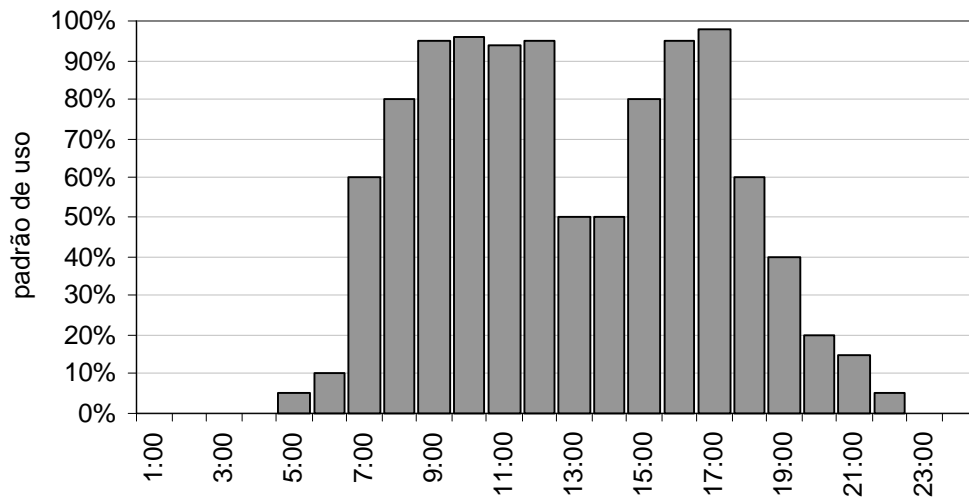


Figura 2.2 - Padrão de uso durante um dia (schedule).

De forma similar ao padrão de uso de consumo de energia, há a caracterização do controle de temperaturas internas que correspondem às regulagens de termostato das zonas (*set-point*). Ao invés de declarar valores percentuais, são declarados os valores de temperaturas. No caso de caracterização de ventiladores declara-se o valor 1 para cada hora em que funciona e o valor 0 para cada hora que não funciona.

SYSTEMS

Os sistemas de condicionamento de ar podem ser compostos por dois outros subsistemas interconectados, que são os sistemas primário e o secundário. O sistema secundário é o responsável direto pelo condicionamento da(s) zona(s). Pode ser instalado diretamente no local ou próximo à zona condicionada, sendo que neste último caso emprega-se rede de dutos de ar. O SYSTEMS compreende a simulação do sistema secundário de condicionamento de ar a partir da caracterização de seus componentes e dos resultados gerados no LOADS. Seus resultados permitem avaliar o comportamento térmico e energético da zona sob condições de operação do condicionador de ar. Entre as dezenas de resultados horários destacam-se a temperatura da zona, a umidade, índices

de performance do evaporador (ou serpentina de água gelada) e do aquecedor, vazões de ar de retorno e de renovação e uso final de energia.

O DOE-2.1E apresenta diversos modelos de sistemas secundários para climatização artificial que cobrem satisfatoriamente todos os sistemas disponíveis no mercado nacional. A Figura 2.3 apresenta um diagrama típico de SYSTEMS, que emprega climatizadores e ventiladores de insuflamento de ar, servidos por tubulações de água gelada e de água quente.

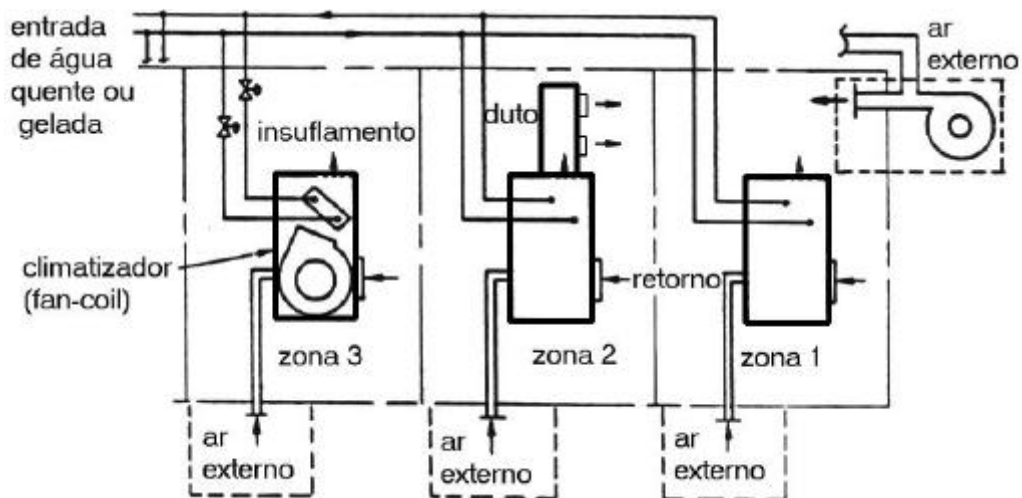


Figura 2.3 - Diagrama do SYSTEMS para um sistema secundário servido por climatizadores (fan-coils) e água gelada.

Para sistemas de condicionamento do tipo “unitário” (ou *packaged*), assim como os condicionadores de ar de janela, *split* e *self-contained*, comportam numa única unidade todo o circuito de resfriamento (evaporador, condensador, compressor, capilares ou válvulas de expansão e ventiladores) e dispensam a presença de um sistema primário. Sua representação gráfica é apresentada na Figura 2.4.

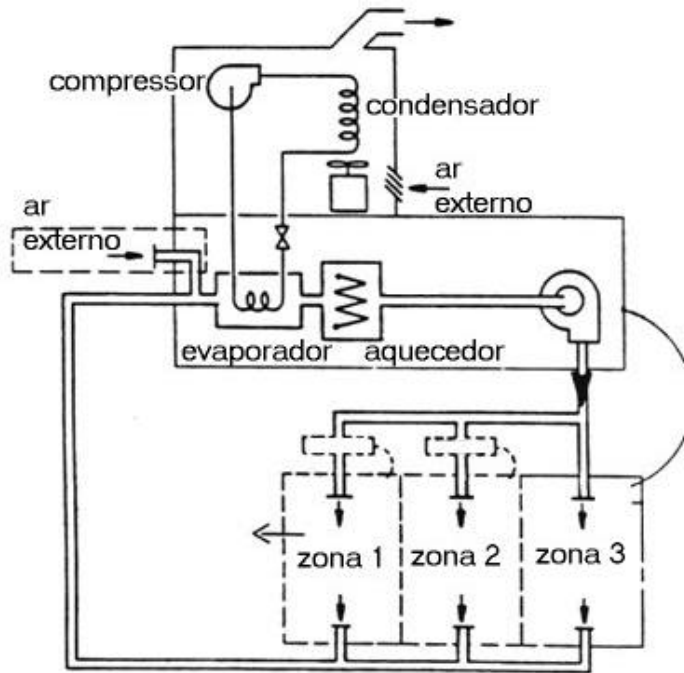


Figura 2.4 - Sistema secundário do tipo "unitário".

PLANT

O sistema primário de condicionamento de ar é modelado no subprograma PLANT e compreende os equipamentos que participam do resfriamento ou aquecimento da água levada ao sistema secundário, como resfriador de líquido, caldeira de aquecimento, torre de arrefecimento, bombas de água gelada e de água de condensação e sistema hidráulico, exemplificados na Figura 2.5. A partir dos resultados do SYSTEMS, o PLANT avalia a performance do sistema primário através de cálculos de consumo de energia por uso final e de atendimento às cargas de resfriamento e aquecimento demandadas.

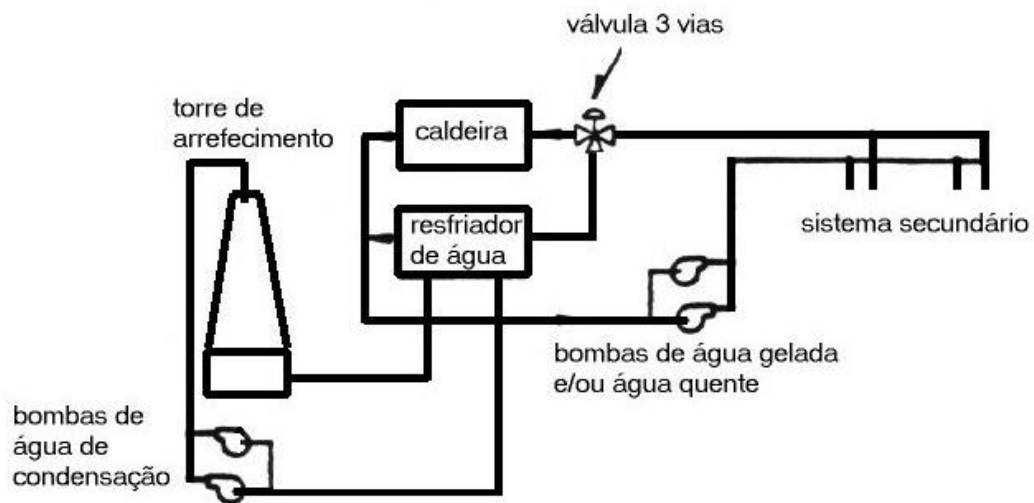


Figura 2.5 - Exemplificação do PLANT segundo o DOE-2.1E.

ECONOMICS

O quarto e último subprograma, o ECONOMICS, separa os consumos de energia por períodos em que o custo da energia elétrica é diferente, a exemplo da tarifa horosazonal, e calcula os custos sobre consumo e demanda.

2.1.3. Levantamento de Sensibilidade de Variáveis

A sensibilidade de cada variável está associada à sua influência sobre os resultados da simulação. Para estimá-la são realizadas sucessivas simulações para diferentes valores de uma mesma variável, com uma única ordem de execução. Atua como um multiplicador, restringindo-se ao intervalo de valores mínimos e máximos especificados pelo usuário. Este recurso se mostrou eficaz em análises de sensibilidade de variáveis associadas ao envoltório e à iluminação natural, a exemplo das dissertações de BULLA (1995) e de SOUZA (1995).

MAHONE et al. (1986) desenvolveram e executaram uma série de análises paramétricas usando o DOE-2.1D para testar o impacto energético de variações de diferentes parâmetros, para cinco climas da Califórnia (USA). Os mais importantes foram: projeto de iluminação empregando iluminação natural (*daylight*), termostato, economizadores e ganhos internos. Adotou-se um edifício típico, com condicionador de ar do tipo *self-contained*, zona única, economizador e caldeira, dimensionados automaticamente para atender os valores de temperatura fixados pelas *schedules*. O

método se mostrou eficiente na quantificação dos efeitos proporcionados pelas medidas e extremamente sensível ao tipo de clima usado.

CORSON (1992) testou a sensibilidade de modelos a partir de 25 variáveis de entrada, sob diferentes condições: 11 modeladores construíram 25 modelos de edifícios usando 5 programas e executaram 600 simulações. O parâmetro de avaliação dos modelos foi a comparação com dados de uso final medidos dos edifícios.

Seu trabalho apontou três fatores com maior influência sobre a variabilidade dos resultados: diferenças da edificação, do modelo e do programa. Evidenciou que os modelos são comparativamente menos sensíveis às variáveis de envoltória e iluminação e mais sensíveis às de ocupação, clima, fornecimento de ar e sistemas de HVAC. Algumas observações são apresentadas a seguir.

- A) Registrou-se a influência dos modeladores, confirmando que não produziram modelos iguais. Entretanto, as diferenças podem ser minimizadas mediante treinamento, experiência e programas de ajuda.
- B) São pequenas as diferenças decorrentes do zoneamento e determinação de volumes de fornecimento de ar, áreas de paredes, controle de luz nas horas da manhã e aquecimento de água. Porém, quando agregados, produzem um impacto significativo.
- C) Observou-se que as medidas sobre o HVAC apresentam mais impacto que as medidas sobre o envoltório, contrariando as tendências de usuários que se dedicam mais ao detalhamento do envoltório e cargas térmicas internas.

STETIU (1993) também realizou estudos de sensibilidade sobre o detalhamento geométrico, analisando uma edificação típica de escritórios, exemplificada na Figura 2.6.

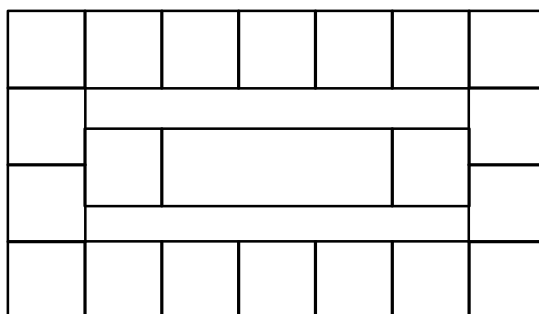


Figura 2.6 - Planta baixa de modelo de escritório abordado por STETIU (1993).

Foi identificado que a simplificação sobre a modelagem mediante a eliminação de divisões entre as salas influencia o comportamento térmico da edificação,

proporcionalmente à incidência de cargas térmicas externas, ou seja, em casos em que a edificação não apresenta ocupação interna e tampouco controle do clima interno, seu comportamento varia significativamente à medida que os ambientes são agrupados, aumentando o fluxo de calor entre as paredes internas. Com a ocupação interna, cargas de iluminação e controle do clima interno, a simplificação geométrica torna-se atraente porque otimiza os trabalhos sem influenciar significativamente sobre os resultados. Mesmo a adoção de um único ambiente para representação do comportamento térmico produz diferenças desprezíveis se comparado com o modelo detalhado. Quanto à inércia térmica, esta atua significativamente sobre a forma do perfil de temperatura, sendo mais pronunciado em edificações com estruturas leves. Portanto, o emprego de modelos simplificados está associado com o escopo das simulações.

2.2. Calibração de Modelos

Os diversos métodos de calibração de modelos consistem basicamente de correções (ou ajustes) dos valores das suas variáveis, baseados na comparação de resultados obtidos por simulação com dados reais. São aplicados em modelos compatíveis com sua complexidade, precisão desejada e custos operacionais.

Segundo KAPLAN Engineering (1992), o modelo mais simples a ser calibrado deve reunir as melhores informações disponíveis (de fácil obtenção). É designado na literatura como modelo “as-built”, ou como “modelo construído”, e se baseia em fontes mais acessíveis ao modelador: dados de consumo e demanda de energia, auditorias, projetos arquitetônicos, memorial de construção, catálogos e pessoal técnico. Sua montagem prima pela simplicidade e racionalização dos trabalhos. Este modelo é melhorado a partir de informações obtidas de auditorias mais detalhadas, inspeções, dados de consumo horário, consumo por uso final e monitoração de variáveis como temperatura do ar. Esta evolução é clara no método proposto por HABERL & KOMOR (1990b), que sugere um crescente detalhamento do modelo ao mesmo tempo em que as variáveis são ajustadas ou acrescentadas, descrito a seguir:

- A) Nível 1 - Sem contato pessoal. Emprega tarifas mensais de energia e temperatura interna. Pode ser usado para determinar a presença de equipamentos para aquecimento ou resfriamento e para prover ao cliente uma análise do histórico de energia.
- B) Nível 2 - Contato por telefone. Coleta-se informações adicionais por telefone, como utilização das áreas, horas de operação, potência de equipamentos, e características

construtivas. Entretanto, o levantamento das características do condicionador de ar é passível de erro devido à ignorância do usuário e ao caráter técnico destes dados. Esse nível permite detectar o uso expressivo de energia, como o superdimensionamento de resfriadores de ar ou água e desperdícios em períodos desocupados.

- C) Nível 3 - Visitas ao local. Envolve visita ao local, a partir de dados e conclusões geradas dos níveis anteriores. Prevê-se duas visitas. A primeira compreende uma caminhada de uma hora, com instrumentação limitada: câmara fotográfica, luxímetro, termômetro e sensor de UR%. A segunda visita, se necessária, inclui medições adicionais, de 8 ou mais horas, com medições de cargas, teste de equipamentos e verificação dos padrões de uso e de regulagem do termostato.

2.2.1. Ajustes por Consumo Total de Energia Elétrica Medida em Períodos

Este método é amplamente difundido para avaliação de modelos de diferentes níveis devido à sua simplicidade. É baseado na diferença de consumo total de energia entre a real e a obtida por simulação, em períodos mensal, sazonal ou diário. Desses três, o período mensal é o mais usado e é conhecido como MCT (*monthly consumption tuning*)

A ASHRAE (1991) prescreve que diferenças mensais inferiores a 20% (entre 10% e 20%) são razoáveis para a aceitação de um modelo. O trabalho de KAPLAN et al. (1990) é mais criterioso na sua avaliação e propõe diferentes níveis de tolerância, associadas ao tipo de uso final da energia consumida tal que diferenças mensais de 5% são aceitáveis para cargas internas como iluminação e pequenos aquecedores. Para sistemas de climatização artificial, as tolerâncias são maiores: 15 a 25% para períodos mensais. ZMEUREANU et al. (1995) justifica que tolerâncias maiores são recomendadas para períodos com incidência de picos de carga de aquecimento e resfriamento, e que tolerâncias menores são recomendadas para cargas médias de aquecimento e resfriamento. O consumo de energia pode ser previsto com uma aproximação inferior a 10% do valor mensal real e 15% do valor real diário.

No caso de comparação para um dia, o trabalho de KAPLAN et al. (1990) propõe que diferenças diárias entre o consumo de energia simulado e o real de 15% são aceitáveis para cargas internas como iluminação e pequenos aquecedores. Para sistemas de climatização artificial, as tolerâncias são maiores: 25 a 35% para períodos diários.

O trabalho de ZMEUREANU et al. (1995) faz um apanhado dos principais trabalhos que abordam o tema, e observa alguns resultados comuns:

- as diferenças entre previsões e medições de uso de energia anual se concentram entre 1% e 14%;
- tendência em subestimar o consumo de energia total em 15% do real;
- a previsão de consumo de energia elétrica mensal apresenta maior erro que a anual, com diferenças médias entre simulado e real entre 5% e 24%, e diferenças máximas variando entre 13% e 55%.

2.2.2.Avaliação de Dados Horários

Dados horários podem ser empregados antes e depois da auditoria, uma vez que são gerados pela concessionária de energia elétrica. Podem ser aplicados para avaliação diária, a exemplo da avaliação de dados mensais, ou para o levantamento de índices de avaliação.

HABERL (1990a, 1990b) emprega dados horários para geração de índices de avaliação como:

- custo anual de energia (R\$/m²);
- uso de energia em áreas climatizadas (kWh/m²);
- índice de avaliação de uso de energia durante períodos desocupados.

A observação de dados de consumo de energia são referências para a avaliação da densidade de iluminação, equipamentos e ocupação.

HABERL et al. (1993) abordam recursos de monitoração de dados diários e horários para antecipar desenvolvimentos de processos de auditoria. É uma evolução do trabalho anterior de HABERL (1990b), o qual emprega índices de avaliação para diversos ambientes e reavalia os ambientes analisados a partir da comparação dos índices horários e diários com observações de auditorias. Esta análise permite o diagnóstico de deficiência de termostato, períodos de desconforto, e uso atípico (em relação ao padrão normal de uso).

2.2.3.Ajuste através de Consumo de Energia por Uso Final

O processo abordado por KAPLAN Engineering (1992) e KORAN et al. (1992,1993) emprega técnicas de ajustes mensais e horários para caracterizar usos finais de consumo de energia elétrica. O método analisa um período anual, com dados completos e precisos, composto por padrões de uso típicos. O procedimento é

apresentado na Figura 2.7. O fluxograma pode ser resumido nos passos apresentados a seguir.

- A) Entrada dos dados climáticos locais e atuais.
- B) Simulação do modelo para uma comparação preliminar entre o consumo de energia modelado e dados monitorados.
- C) Entrada de padrões de uso de carga derivadas de monitoração para criar o modelo normalizado (ou *standard*). Esses padrões de uso são usados para calcular a potência média usada pelos diferentes usos finais para cada hora do ano.
- D) Comparação dos resultados simulados com os dados monitorados. Se a diferença atender aos critérios de tolerância, o modelo é considerado ajustado. KAPLAN Engineering (1992) recomenda os seguintes valores de tolerância:
 - uso final mensal: $\pm 30\%$;
 - uso final sazonal: $\pm 20\%$.
- E) As variáveis são ajustadas até que os resultados produzidos pelo modelo atendam a tolerância. As variáveis sob maior suspeita de erros são as que apresentam a menor precisão na definição, como as variáveis responsáveis pela infiltração e massa térmica.

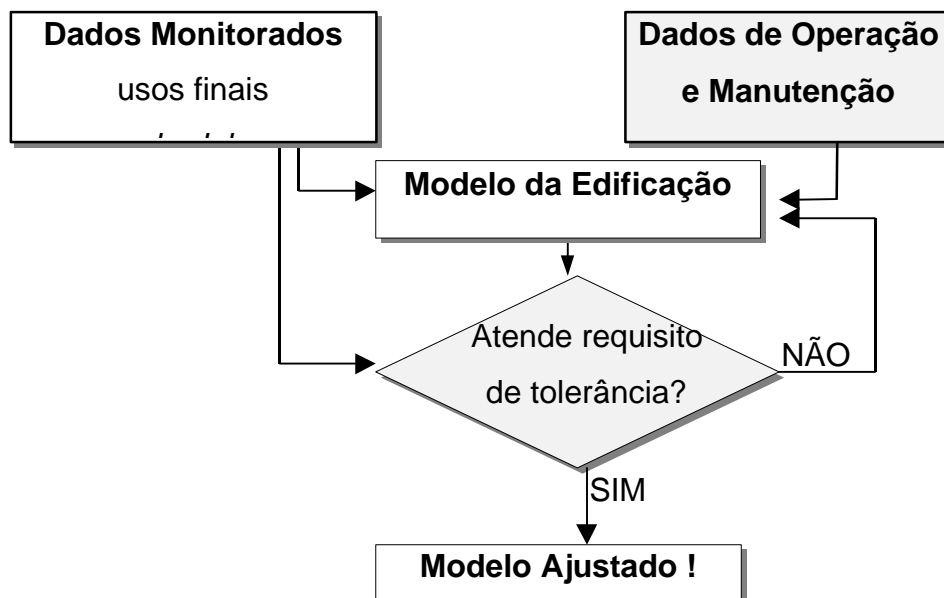


Figura 2.7 - Procedimento de calibração por uso final.

Cada procedimento de ajuste consiste em determinar qual variável de entrada é responsável pela inconsistência, em ajustá-la, simular novamente, comparar os novos

resultados de saída e documentar as iterações. Estas continuam até que os resultados atinjam as tolerâncias. Em raras circunstâncias, típicas em edificações com constantes mudanças de operações, conclui-se que o modelo não pode atender à tolerância. Na prática, os usos finais produzem diferenças inferiores às tolerâncias.

A aplicação deste método para uma edificação de 493 m² que abriga a instituição de Crédito da União Norte-Americana evidenciou que a calibração por uso final proporciona um trabalho mais preciso sobre estimativas de consumo de energia não dependentes do clima, haja visto que os dados de usos finais são monitorados diretamente. Se as cargas térmicas dominantes forem atribuídas aos ganhos internos, esta metodologia também proporcionará um ajuste preciso sobre as estimativas de consumo do sistema de climatização artificial. Em suma, o sucesso da sua aplicação está na realização de uma boa auditoria.

BRONSON et al. (1992) também empregam dados monitorados de consumo de energia por uso final. Apresenta um estudo de rotinas de tipificação dos dias a partir da classificação de variáveis quanto à dependência do clima:

- variáveis dependentes: são variáveis relacionadas à energia que é consumida para aquecimento e refrigeração;
- variáveis independentes do clima: são as variáveis relacionadas ao uso de energia para cargas primárias, como iluminação e equipamentos internos, freqüentemente associadas aos padrões de uso.

A divisão proposta explora com propriedade o potencial do método, à medida que se concentra nas variáveis não dependentes do clima. Emprega a comparação dos resultados extraídos de saídas horárias do DOE-2, com dados medidos, usando métodos estatísticos e gráficos. Aplica-se um “kit” especial composto de programas gráficos adequados à comparação dos perfis das variáveis não dependentes do clima. O trabalho aborda quatro formas de caracterização de uso e caracterização de padrões, porém somente as duas formas apresentadas a seguir são pertinentes à dissertação.

A) Modo DOE: É obtido dos manuais que acompanham o programa, que referencia o uso de cada hora a partir do valor percentual máximo medido. Por exemplo, se há 10kW instalados e somente 5kW estão sendo usados naquela hora, o valor correspondente é 50%. Esta abordagem não emprega ajustes do perfil obtido.

B) Perfis obtidos de Auditoria. Dias úteis e fins de semana são criados a partir de dados horários selecionados de uma monitoração de duas semanas. Monitora-se o consumo

de energia elétrica por uso total e uso final, mediante instalação de sensores em subpainéis de energia.

O trabalho de BRONSON et al. (1992) abordou a edificação do centro de engenharia, de 30.100 m², quatro andares de 111m (direção nordeste-sudoeste) x 73m, localizado no Texas, próximo de Houston. Abriga salas de aula, laboratórios e escritórios, com máxima ocupação de 2.300 pessoas e período de ocupação entre 8:00 e 17:00 horas. Sua densidade de potência máxima de iluminação é 21,52 W/m² e de equipamentos é 25,82 W/m². Os resultados obtidos evidenciaram que o método de geração de padrões do DOE-2 minimizam as estimativas de iluminação e equipamentos em 21% e 28%, dependendo do mês, e ocorre principalmente nos períodos desocupados, quando se estima menos energia sendo consumida que o normal. Entretanto, os resultados podem ser drasticamente melhorados através das auditorias, alcançando diferenças máximas entre cargas de energia elétrica mensais simulada e real entre -6% e +1%.

2.2.4. Ajuste através de Monitoração em Curtos Períodos de Tempo) - STEM (Short Term Energy Monitoring)

A monitoração de energia em curtos períodos de tempo foi desenvolvida pelo *Solar Energy Research Institute* (SERI) e é abordado nos trabalhos de KORAN et al. (1992,1993) e KAPLAN et al. (1992). De acordo com o método, há cinco fluxos de calor primários que afetam as cargas térmicas de um edifício. Estão associados à transmitância térmica da edificação, às mudanças de temperatura interna, aos ganhos solares, à infiltração e aos ganhos internos (ex: metabolismo dos ocupantes, equipamentos elétricos). Os testes de STEM são preferencialmente executados em períodos frios (casos de calefação) para maximizar as cargas térmicas de infiltração e condução.

O método emprega dados horários e, com exceção dos dados climáticos e dados de uso final de energia, todos são extraídos de monitoração de três dias. Para um edifício de aproximadamente 493 m², descrito nos trabalhos de KORAN et al. (1992,1993), foram monitoradas 11 variáveis: temperatura do ar externo, umidade relativa externa, insolação horizontal, insolação vertical, velocidade do ar, temperaturas internas de cada andar do edifício, consumo de energia dos andares, aquecimento produzido por ciclo reverso dos condicionadores de ar.

O método se baseia no balanço de fluxo de energia, composto por nove termos primários e secundários. Dois dos cinco fluxos primários são medidos diretamente ou calculados de uma medição direta. Há uma correspondência direta entre os outros três termos primários e os três testes de envoltórios. Entretanto, através do estudo paramétrico dos três termos primários desconhecidos, o modelo pode ser ajustado para encontrar os resultados dos três testes do envoltório.

Os fluxos de calor primários estão apresentados na TABELA 2-1.

TABELA 2-1 - Fluxos de calor primários do método STEM.

Q1	Transferência de calor entre o interior e o exterior da edificação devido às diferenças de temperaturas. O modelo é ajustado para fazer Q1 coincidir com o resultado do teste de coeficiente de carga da edificação. O coeficiente de carga da edificação é definido como o produto da transmitância térmica pela área externa, acrescida da carga térmica de infiltração de ar (UA+infiltração).
Q2	Fluxo de calor da estrutura da edificação para o ar interno, devido às mudanças de temperatura. O modelo é ajustado para Q2 coincidir com os resultados de teste de capacitância térmica.
Q3	Fluxo de calor para o ar interno devido aos ganhos solares. O modelo é ajustado para Q3 coincidir com os resultados de teste de ganhos solares.

Os termos primários de fluxos de calor que são calculados diretamente estão apresentados na TABELA 2-2.

TABELA 2-2 - Termos primários de fluxos de calor que são calculados diretamente do método STEM.

Q4	Fluxo de calor de ganhos internos. É toda a energia elétrica que flui para a edificação. Q4 é medida continuamente durante o teste de STEM.
Q5	Perdas de calor interno devido às infiltrações. É calculado a partir de medições de taxas de infiltração provocadas por diferenças de temperatura interna-externa.

Os termos secundários são todos simulados pelo modelo, e estão apresentados na TABELA 2-3.

TABELA 2-3 - Termos secundários de fluxos de calor do método STEM.

Q6	Fluxo de calor do ar interno devido às mudanças de temperatura externa.
Q7	Perdas de calor por radiação do interior da edificação para o céu, à noite.
Q8	Fluxo de calor do ar interno devido à condução por ambientes anexos.
Q9	Fluxo de calor para o chão devido ao contato direto.

Os fluxos são identificados a partir de testes, descritos a seguir.

Os dados monitorados permitem o entendimento das operações que ocorrem nas edificações. Os termos primários são ajustados para aproximar os resultados dos testes. Os termos secundários são calculados com suficiente acuracidade a partir do modelo. A principal hipótese é que os termos secundários não precisam ser ajustados para satisfazer a aproximação dos dados.

TESTE DE COEFICIENTE DE CARGA DA EDIFICAÇÃO (UA DA EDIFICAÇÃO + INFILTRAÇÃO)

Após o equilíbrio térmico da edificação, mantém-se a temperatura interna constante através de aquecedor por resistências elétricas, substituindo o aquecimento do sistema original, e monitora-se o consumo de energia dos aquecedores.

Os ganhos solares e inércia térmica são minimizados durante o teste, realizando-o à noite. Os valores são coletados próximo ao início da manhã, antes do sol nascer, quando o ganho solar residual se aproxima de zero e a temperatura da edificação se aproxima da temperatura do ar. As demais cargas do espaço interno (iluminação interna e equipamentos elétricos) também são minimizadas artificialmente. Dessa forma, o fluxo de calor através do envoltório, somado às perdas de calor devido à infiltração é equivalente à energia gerada pelo aquecedor monitorado, conforme eq. (2.1).

$$Q_{\text{aquecedor}} = UA (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) + \rho \cdot c_p \cdot \text{CFM}_{\text{inf}} (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \quad (2.1)$$

onde

UA = produto da transmitância térmica da edificação pela área externa (W/K);

ρ = densidade do ar (kg/m³);

c_p = calor específico do ar (J/kg K);

CFM_{inf} = vazão de ar de infiltração (m³/s);

T_{int} = temperatura interna (°C);

T_{ext} = temperatura externa (°C).

O ajuste das simulações é feito mediante um multiplicador que atua sobre as variáveis de entrada UA do modelo, tal que os resultados simulados se aproximem dos testes. Naturalmente, quanto mais leve a edificação, menor o número de ajustes.

TESTE DE INFILTRAÇÃO

A infiltração é medida apenas algumas vezes (os trabalhos não detalham a forma). É interessante que o ajuste esteja associado às variáveis vento e diferenças de temperatura interna-externa. A determinação da infiltração permite que o termo UA (produto da transmitância térmica pela área) seja identificado a partir do conhecimento da potência de aquecimento.

TESTE DE CAPACITÂNCIA TÉRMICA

Este termo é determinado por um teste de resfriamento, executado à noite. Os aquecedores são desligados e a edificação é resfriada. A taxa de resfriamento é função do coeficiente de carga da edificação e da sua capacitância. Para determiná-la, determina-se o coeficiente de carga da edificação. Ainda, desprezando os ganhos solares, a equação simplificada de balanço de energia para o período de resfriamento é:

$$M \cdot c_{p \text{ edf}} (\delta T/t) = UA (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) + \rho \cdot c_p \cdot \text{CFM}_{\text{inf}} (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \quad (2.2)$$

onde

M = massa da edificação (kg);

$c_{p \text{ edf}}$ = calor específico médio da edificação (J/kg K);

$\delta T/t$ = derivada parcial da temperatura pelo de tempo (°C/s).

A equação anterior assume que mudanças de temperatura da massa da edificação apresentam a mesma taxa da temperatura do ar. No ajuste de modelos, um multiplicador é aplicado ao calor específico da envoltória para aproximar o modelo dos resultados.

TESTES DE GANHOS SOLARES

Os ganhos solares são determinados através do aquecimento dos ambientes em períodos de alta insolação. A diferença para aquecer o ambiente em períodos sem insolação, requerida a cada hora, é atribuída aos ganhos solares. Dessa forma, assumindo que a temperatura do ar seja igual à da massa da edificação, a equação de balanço toma a seguinte forma:

$$Q_{\text{solar}} + Q_{\text{aquecedor}} = UA (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) + \rho \cdot c_p \cdot \text{CFM}_{\text{inf}} (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \quad (2.3)$$

onde

ρ = densidade do ar (kg/m³);

c_p = calor específico do ar (J/kg K);

CFM_{inf} = vazão de ar de infiltração (m³/s).

Uma vez que os termos à direita estejam determinados, os ganhos solares são identificados. Aplica-se um multiplicador sobre o coeficiente de sombreamento e sobre a absorvidade para aproximar o modelo. Este completa os testes que abordam a edificação como um calorímetro.

TESTE DE EFICIÊNCIA DE HVAC

O último teste mede a eficiência do aquecimento do sistema de HVAC. Os aquecedores instalados para os testes anteriores são desligados e as zonas são mantidas à temperatura constante, através do ciclo reverso (bomba de calor). A energia elétrica consumida pelo ciclo reverso é monitorada. Desde que os outros parâmetros estejam calibrados pelos primeiros quatro testes, a energia requerida para manter as temperaturas dos espaços pode ser calculada. A energia requerida é comparada com a energia de entrada para determinar a eficiência total do sistema de condicionamento de ar. O coeficiente de performance do compressor do resfriador de líquido (COP) é ajustado para aproximar os resultados.

O DOE-2.1E, programa usado nesses trabalhos, oferece o modo automático para modelar os ventiladores, tornando a simulação mais prática, e gerando mais uma fonte de erros, principalmente em curtos períodos de tempo. Como o DOE-2.1E executa somente simulação horária, o mesmo não permite simular períodos parciais, mas apenas blocos do tipo “ligado” ou “desligado”.

Uma vez desligado o sistema de condicionamento de ar durante o testes de envoltório, a extração ou a adição de calor representa um desequilíbrio de energia, e

conseqüentemente representa a diferença entre os resultados e os testes. O objetivo é minimizar esse desequilíbrio através de ajuste de variáveis do envoltório. Como o desequilíbrio não é constante para todas as horas, é necessário tratar os dados estatisticamente. A raiz quadrada do desequilíbrio de energia é usada para comparar os resultados para diferentes entradas e é calculada para cada hora analisada: a taxa de extração de calor para todas as zonas é somada e elevada ao quadrado. O quadrado da somatória de todas horas é analisado e tirada a média. Finalmente, obtém-se a raiz quadrada. Para normalizar o processo para uma variedade de tamanhos de edificações, divide-se a raiz quadrada pela área da edificação. Depois do processo completado, a simulação é comparada com os dados monitorados anuais.

Os benefícios do método advém da realização dos testes. Devido à ênfase dada à envoltória da edificação, à identificação da sua inércia térmica e à eficiência do sistema de climatização, este método é recomendado para edificações que apresentam alta participação do sistema de ar condicionado sobre o consumo de energia elétrica total. Entretanto, o método não é recomendado para modelagem de cargas internas.

SUBBARAO et al. (1990) também empregam testes de curtos períodos (STEM) com monitoração e simulação no DOE-2 e PSTAR⁵ para determinar variáveis como coeficiente de carga, ganhos solares, transmitância térmica, eficiência do HVAC. O método realizado em três dias foi aplicado em 50 residências e 2 edificações não residenciais. Os resultados apontaram diferenças entre projeto e comportamento real de até 50%.

O trabalho de SUBBARAO et al (1990) evidenciou que existem restrições quanto à aplicabilidade do método: não é adequado para ajustes de cargas associadas à infiltração, ao fluxo de calor do piso, aos ganhos solares e a certas características de equipamentos que não possam ser usados no período do teste. Os coeficientes das edificações se apresentaram menores que as expectativas baseadas em auditorias e cálculos normalizados devido às imperfeições na qualidade das construções. Ganhos solares foram superestimados, representando 88% do valor estimado de auditorias em virtude do sombreamento e das obstruções. Outros fatores que podem ter influenciado os resultados foram:

- infiltração

⁵ Programa desenvolvido para avaliação de resultados do DOE-2.

- superestimação de valores auditorados de coeficientes combinados de convecção e radiação.
- geração de calor nas garagens (carro ligado) e cozinhas, etc;
- uso de coeficiente de filme externo correspondente à velocidade do ar de 6,7 m/s.

2.2.5.Comparação MCT & STEM

A comparação de diferentes métodos de calibração são apresentados nos artigos de Koran et al. (1992,1993) e abordam as duas técnicas de ajuste de consumo apresentadas anteriormente:

A) MCT: técnica de ajuste de consumo de energia por uso final mensal, a partir de dados de:

- consumo de energia por uso final;
- temperaturas das zonas, ciclos de dutos de ventilação.

B) STEM: técnica de ajuste de variáveis de entrada a partir da monitoração de energia elétrica em curtos períodos de tempo, sob 3 dias de teste.

Analisou-se um pequeno edifício da União de Crédito em Idaho, com uma área de 1.619 m², que apresentou os seguintes resultados:

- os métodos MCT e STEM originam ajustes diferentes sobre os modelos;
- o coeficiente de carga térmica do edifício obtido por STEM é 65% do coeficiente de carga térmica obtido por MCT;
- os testes do STEM indicam que as performances do envelope do edifício são 50% melhores do que uma simulação típica originada por auditoria poderia prever através do DOE;

Comparado ao STEM, o MCT faz um trabalho mais preciso de estimativa de consumo de elementos estranhos ao condicionamento de ar porque se beneficia de dados de uso final monitorados. À medida que aumenta a independência do sistema de ar condicionado em relação ao envelope, melhora a precisão de estimativa de consumo do condicionamento de ar. O MCT depende totalmente da auditoria e plantas haja visto que o usuário interpreta o sistema de condicionamento de ar. Em contraste, os benefícios do STEM são decorrentes de testes diretos de desempenho térmico de edifícios. Observa-se também que a eficiência geral do ar condicionado (carga de refrigeração produzida / energia consumida) no método STEM foi ajustada em 82%.

Usando os mesmos dados mas diferentes ferramentas analíticas, o MCT estimou a eficiência em 155%.

No caso analisado, o STEM obteve muito sucesso no ajuste de energia usado pelo HVAC. Devido a sua ênfase em envelope, inércia térmica e eficiência do HVAC, o STEM é mais confiável e indicado para casos em que o consumo do HVAC seja mais significativo. Com testes apropriados, o STEM pode ser também confiável para casos com predominância de carga térmica associadas ao envelope. A deficiência do STEM é que revela pouco sobre cargas internas e ocupantes.

2.3. Características do Sistema de Monitoração

A definição do sistema de monitoração deve atender os requisitos da *ASHRAE Applications Handbook* (SI) 1995, apresentados nas TABELA 2-4 e TABELA 2-5, à seguir.

TABELA 2-4 - Características para Monitoração de Edificações.

Parâmetros	Incerteza	Faixa	Objetivo	Período de Integração
Consumo de energia de condicionamento de ar	3%	---	---	---
temperatura interna	0.6 °C	10 a 35 °C	temperatura média	1 hora
umidade interna	5% UR	10 a 95 %	umidade média	---
radiação solar	30 W/ m ²	0 a 1100 W/m ²	Rad. total horiz.	1 min

A escolha do sistema deve considerar a compatibilidade com microcomputador pessoal (PC), para efeito de coleta e armazenamento no local das medições, e posterior processamento em programas estatísticos. É interessante que seja um sistema consolidado e que sejam realizados testes prévios nas condições de trabalho, ou que sejam obtidas referências a partir de outros usuários. Outros requisitos citados em bibliografia estão resumido na TABELA 2-5, a seguir.

TABELA 2-5- Características de Equipamentos de Medição para o Trabalho.

Componentes	Considerações para Aplicações de Campo
Sistema de aquisição de dados	<ul style="list-style-type: none"> • equipamento deve ser para aplicação de campo • deve armazenar dados ou transferir para um periférico de tratamento de dados • programação remota para permitir modificações do programa no campo • evitar equipamentos com ventiladores de arrefecimento • alta qualidade
Sensores	<ul style="list-style-type: none"> • confiáveis para uso em campo • trabalhar com 50 a 75% da escala máxima • não requeiram tratamento dos sinais • pré-calibração e recalibração periódica

2.4.Determinação de Desempenho de Resfriador de Líquido

Os sistemas de climatização artificial são dimensionados para atender situações de pico de carga térmica. Entretanto, freqüentemente operam 97% do tempo com carga de refrigeração parcial, segundo dados de manuais do resfriador de líquido da *Springer Carrier*. A exemplo dos resfriadores do tipo centrífugos, BEYENE et al. (1994) apontam que são projetados para atingir sua eficiência máxima em torno de 70-80% da carga de projeto, ou seja, operam em diferentes cargas parciais e com diferentes níveis de eficiência (kW/tonelada de refrigeração).

Conforme estudos de BEYENE et al. (1994), a performance dos resfriadores está associada ao tipo e ao clima. Dessa forma, as curvas fornecidas pelos fabricantes não consideram estas influências, tampouco a perda de rendimento decorrente do uso e manutenção. Este último fator é ainda mais crítico para o Brasil, pois é fato inquestionável que os sistemas existentes nem sempre apresentam manutenção adequada, principalmente em zonas distantes de grandes metrópoles.

BEYENE et al. (1994) monitoraram diversos resfriadores em campo e evidenciaram diferenças significativas em relação à curva do fabricante, conforme Figura 2.8. A nuvem de pontos representa os valores coletados em campo e a curva

delineada representa a curva do fabricante. Observa-se também que a curva do fabricante otimiza o funcionamento principalmente em cargas parciais muito baixas. À título de exemplificação, para situação de 17% de carga, o consumo do resfriador instalado é o dobro do especificado pelo fabricante, para uma dada capacidade de refrigeração.

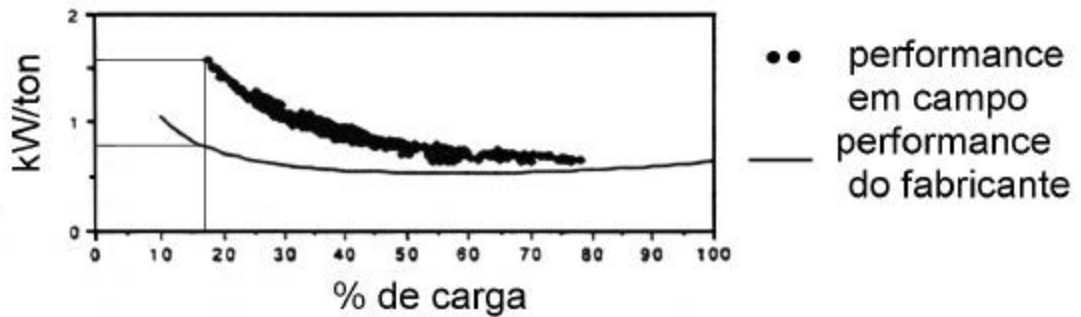


Figura 2.8 - Curva de eficiência de um resfriador (BEYENE et al. 1994).

A determinação da eficiência do resfriador é obtida da monitoração do consumo de energia elétrica correspondente à retirada de uma dada quantidade de energia da água fria que circula pela edificação. A temperatura é medida na tubulação de água gelada de entrada e de saída do resfriador e a potência elétrica consumida é medida na entrada do resfriador. Dados de vazão da água gelada podem ser obtidos indiretamente, através de consultas às curvas de bombas hidráulicas do fabricante nas condições de projeto, conforme o trabalho de BRAUN et al. (1987).

3. Metodologia

Conforme foi abordado na revisão bibliográfica, os métodos de calibração obedecem a um procedimento comum: faz-se o primeiro modelo e a simulação sob um clima específico. Os desempenhos são comparados com dados reais e, a partir das discordâncias verificadas, procede-se ao ajuste de variáveis e simulações, até que se atinjam tolerâncias aceitáveis.

O principal critério de avaliação da performance da simulação é o consumo de energia elétrica mensal global. Entretanto, há diversos parâmetros que podem ser empregados na correção das variáveis: desde dados de consumo horário global obtidos da concessionária de energia elétrica e de uso final obtidos por monitoração, até estimativas de fluxo de calor da edificação e eficiência de condicionador de ar. Da mesma forma, há vários procedimentos de modelagem: de coleta de informações à distância, que assume um grande número de simplificações, à modelagem baseada em dados de monitoração de variáveis da edificação.

Para analisar os diferentes métodos de construção e correção dos modelos e as suas influências sobre os resultados das simulações propôs-se criar cinco abordagens distintas, apresentados na TABELA 3-1. Cada abordagem corresponde a um agrupamento de métodos de obtenção de características e/ou de correção do modelo, sendo que os critérios usados para reuni-los são:

- disponibilidade: está associado ao custo de obtenção das informações e à rapidez;
- detalhamento: os modelos evoluem de um conjunto de informações genéricas (principalmente quando se usa *defaults*) para um conjunto de informações detalhadas, passando por diferentes estágios.

As cinco abordagens são:

A) Grupo I. O primeiro modelo da edificação é criado a partir de dados coletados à distância, é simulado sob o arquivo climático TRY⁶ de 1963, de GOURLART (1994), e seu consumo mensal simulado é comparado com dados reais de 1995.

⁶ TRY ou Test Referency Year: é um conjunto de informações horárias (mais de 122.640) de 14 propriedades do clima como temperaturas de bulbo seco e úmido, pressão, fração de céu coberto por nuvens, indicadores de chuva e neve, velocidade e direção do vento, umidade, densidade entalpia. Ainda que raro, pode apresentar dados de radiação solar total global e direta normal.

- B) Grupo II. Promove o detalhamento e correções do modelo a partir de auditoria rápida realizada na edificação. Emprega-se o arquivo climático real de 1995 e dados de consumo horário total e horário para calibração do modelo. Também se beneficia das simulações anteriores para identificar as fontes de maior consumo e de maior sensibilidade sobre o modelo.
- C) Grupo III. Concentra-se na monitoração do uso final de energia consumida em intervalos de um e dois minutos, e na caracterização dos padrões de uso das cargas não dependentes do clima, como equipamentos e iluminação em geral.
- D) Grupo IV. É uma evolução da terceira abordagem e consiste da medição da eficiência dos resfriadores de líquido.
- E) Grupo V. Concentra-se na caracterização da envoltória da edificação, tratando-a como um calorímetro. Este método implica na monitoração concomitante do clima e de variáveis da edificação.

TABELA 3-1 - Identificação dos cinco níveis de abordagens principais.

GRUPO	Origem dos Dados
I	planilha de coleta remota (ANEXO A); extrato de faturamento emitido pela concessionária; consulta à distância; arquivo climático TRY.
II	memória de massa do medidor horosazonal; visitas técnicas; medição de temperaturas internas.
III	monitoração de consumo de energia por uso final.
IV	medição da eficiência dos resfriadores de líquido.
V	medição indireta de fluxos de calor.

3.1.Grupo I ou Calibração Mensal

O método caracteriza-se pela distância física do analista em relação ao objeto de análise e busca reproduzir uma situação comum em que um cliente numa região distante solicita uma primeira avaliação energética de sua edificação. Essa fase prima pela rapidez e pelo baixo custo envolvido na análise porque geralmente tem um caráter

seletivo: baseado nessas primeiras análises estima-se o potencial de redução de consumo de energia e se avalia a viabilidade de investimentos em análises mais detalhadas.

Para garantir a fidelidade da abordagem com a situação proposta, o modelador não se aproxima da edificação e os dados são coletados remotamente através de entrevistas e planilhas. O método, apresentado na Figura 3.1, se inicia com o levantamento de informações por um funcionário da edificação, que orientado por uma planilha de coleta de dados (apresentada no ANEXO A), as transcreve e soluciona dúvidas através de fax, telefone ou correio. A caracterização das variáveis também emprega recursos do DOE-2.1E e biblioteca de materiais (propriedades termofísicas) e as simulações são realizadas com arquivo climático do tipo TRY. Estas medidas reduzem o custo da simulação e o tempo de modelagem.

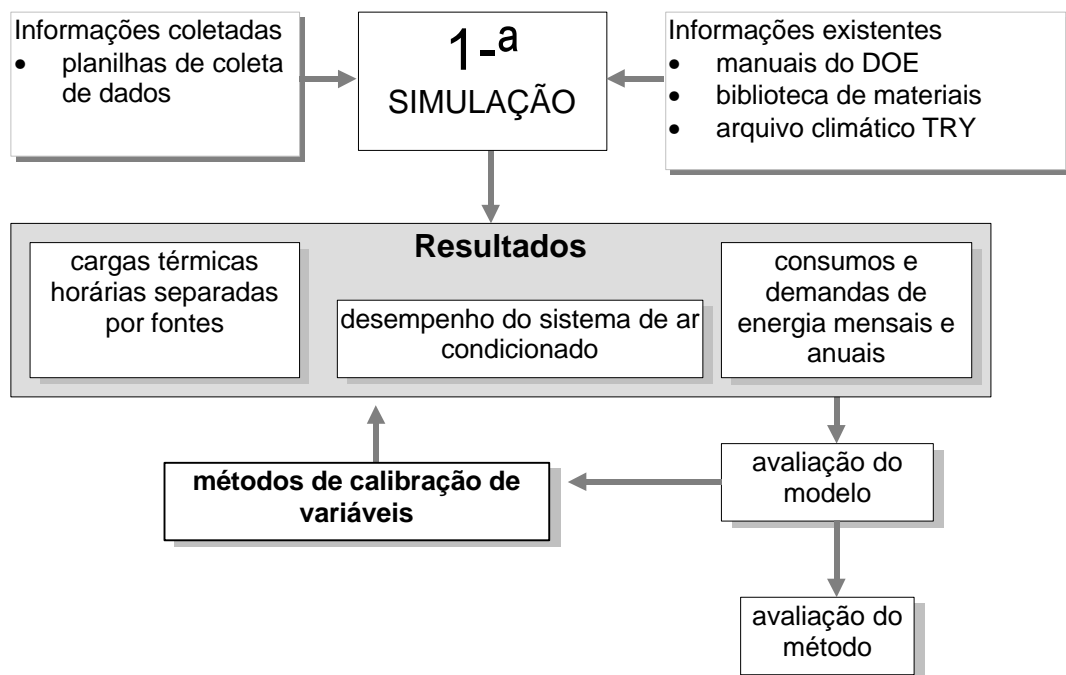


Figura 3.1 - Diagrama de Calibração para o Grupo I.

A partir dos relatórios de performance gerados, avalia-se o comportamento do modelo e sua diferença para com a realidade⁷. Ao mesmo tempo avalia-se o método e o modelo é repassado às técnicas posteriores de calibração.

⁷ A realidade se baseia em dados reais de desempenho obtidos por monitoração. Nessa fase são usados os dados da conta de energia elétrica.

3.1.1.Desenvolvimento da Planilha

Como não se conhece uma planilha para esse fim, acredita-se que o desenvolvimento de uma deve atender para as seguintes necessidades:

- Inteligibilidade. Como seu uso se destina a uma pessoa leiga ao tema, certamente deve ser um técnico que não conhece pelo menos um dos assuntos que a mesma trata.
- Objetividade. Devido ao grande número de variáveis, torna-se imprescindível relevar as variáveis mais importantes e otimizar o trabalho de quem usa a planilha.
- Padronização e codificação das informações. É necessário criar códigos que simplifiquem a caracterização de algumas informações e a forma de obtê-las, tornando-as mais padronizadas possíveis para facilitar o entendimento por parte do usuário da planilha.

3.1.2.Escolha do ano de referência

Uma edificação é algo dinâmico porque é passível de inúmeras influências que a faz mudar de comportamento como mudança de gestão interna, contratação ou dispensa de funcionário, aquisição ou troca de equipamentos, alterações de *layout*, etc. Dessa forma o modelo é também um registro de um tempo e a escolha desse período passa a influenciar os resultados de sua simulação. A escolha do ano deve considerar os seguintes fatos:

- A. Quanto mais recente o ano de referência maior é a facilidade de reproduzir suas características porque as informações são mais fáceis de serem obtidas;
- B. O ano escolhido deve representar com maior fidelidade possível o comportamento da edificação. Um acontecimento não usual pode desviar o comportamento do modelo e por isso deve ser desprezado.

Acredita-se que a melhor forma para escolher o ano de referência é através da avaliação do histórico do consumo de energia dos últimos anos devido à sua simplicidade e facilidade de obtenção.

3.1.3. Compilação do Primeiro Modelo

O primeiro modelo, também conhecido por **modelo construído**, apresenta as seguintes características:

- é um modelo “cego” porque não há qualquer tipo de ajuste de variáveis segundo dados de consumo de energia;
- os dados são coletados à distância através de planilha, de esboços de plantas e de entrevista a pessoal técnico, sem contato (visita ao local com fins de levantamento de dados) do usuário do DOE-2.1E com a edificação estudada;
- há emprego maciço de valores *defaults*, ou seja, de valores que o usuário não precisa declarar no arquivo de entrada, uma vez que eles estão disponíveis na biblioteca do algoritmo.

Nesta fase, identifica-se dois grupos básicos de informações:

- A. Coletadas. São características da edificação que não estão documentadas ordenadamente, como os padrões de uso que são especificados na planilha de coleta de dados. Devem ser obtidas pelo pessoal técnico da edificação, haja visto que possuem maior intimidade com seu funcionamento.
- B. Documentadas: São informações registradas em plantas, projetos e catálogos de equipamentos, disponíveis em biblioteca. Devem ser preferencialmente analisadas pelo modelador para depurar os dados.

Para melhor compreender os dados necessários à modelagem, são apresentadas as informações pertinentes a cada subprograma do DOE-2.1E, a seguir.

LOADS

Nesta fase de detalhamento, preocupa-se apenas em agrupar os ambientes que apresentam controle de condições internas idênticas. Dessa forma, um andar climatizado uniformemente tem detalhado apenas as paredes externas, lajes inferior e superior. Os dados são obtidos de planilha de coleta de dados, plantas arquitetônicas e consulta a profissionais familiarizados aos processos internos da edificação. Os padrões de uso de ocupação, infiltração, iluminação e equipamentos são montados a partir de dados de funcionamento das atividades internas e do condicionador de ar.

SYSTEMS E PLANT

De maneira análoga à abordagem do LOADS, a caracterização das variáveis dos subprogramas SYSTEMS e PLANT emprega frequentemente valores *default* do DOE-

2.1E. Este procedimento é justificado por um agravante: os usuários e proprietários das edificações ignoram as características de seus sistemas de condicionamento de ar, situação confirmada por HABERL (1990b). Ainda que seja uma característica norte-americana, supõe-se que a realidade brasileira seja semelhante. As poucas informações disponíveis são encontradas em projetos e catálogos que acompanham o equipamento (em alguns casos), e ainda assim correspondem a equipamentos novos e em perfeitas condições de uso.

ECONOMICS

Uma vez que não são analisados custos associados aos modelos, a única intervenção no subprograma é a definição dos diferentes períodos de taxaço: período de ponta e fora de ponta, e período úmido e seco. Esta medida gera dados de consumo e demanda de energia total mensal, e separado por períodos:

- OPS: período de ponta, em períodos secos, de 2 de maio à 2 de dezembro, entre 18:00 e 21:00 horas;
- OFS: período fora de ponta, em períodos secos; de 2 de maio à 2 de dezembro, entre 0:00 e 18:00 horas e entre 22:00 e 24:00 horas.
- OPU: período de ponta, em períodos úmidos, de 2 de dezembro à 2 de maio, entre 18:00 e 21:00 horas;
- OFU: período fora de ponta, em períodos úmidos, de 2 de dezembro à 2 de maio, entre 0:00 e 18:00 horas e entre 22:00 e 24:00 horas.

3.1.4. Identificação das Fontes de Carga Térmica

A identificação das principais fontes de carga térmica do modelo auxilia a abordagem das variáveis a medida que passam a ter diferentes níveis de influência sobre o modelo.

As fontes mais significativas são identificadas através dos relatórios de saída LS-C (vide ANEXO B) e LS-F (vide ANEXO C). O relatório LS-C apresenta valores de pico de cargas térmicas (C.T.) e é frequentemente usado para a determinação das principais fontes de carga térmica. Entretanto, para fins de ajustes mensais em longos períodos, aconselha-se a análise do relatório de saída LS-F. Este apresenta a contribuição mensal de cada fonte de carga.

3.1.5. Levantamento de Sensibilidade

Este procedimento quantifica a influência de algumas variáveis sobre os resultados finais. O estudo pressupõe que as principais cargas térmicas são suspeitas de influenciarem os resultados e que a incerteza dos valores atribuídos às variáveis pertinentes a essas cargas podem ser as primeiras a serem ajustadas. Dessa forma, identificam-se os valores extremos que podem ser atribuídos às variáveis, e executa-se uma série de simulações com valores intermediários. Por exemplo, uma densidade de iluminação declarada de 30 W/m² pode operar com carga menor em virtude de constantes queimas e pode ser maior segundo o tipo de reator empregado que o usuário do prédio desconhece. Essa amplitude então é simulada e seu impacto é avaliado. O processo é repetido para cada parâmetro julgado importante. Este recurso permite a identificação de erros grosseiros nas primeiras simulações, mediante a análise do perfil das curvas simuladas com a curvas reais de consumo e demanda.

3.1.6. Ajuste de Variáveis

O ajuste de variáveis é o último procedimento deste grupo e se justifica sempre que a diferença entre os valores de consumo de energia simulados e reais seja maior que o desejado. O princípio de ajuste é baseado na estimativa da diferença de energia consumida real e a simulada. Enquanto o modelo não atender a tolerância desejada, ocorre um processo iterativo: as variáveis são corrigidas, o modelo é simulado, e os resultados são avaliados sucessivamente. Logo, o arquivo de entrada com as últimas correções torna-se o arquivo calibrado.

FONTE DE DADOS

Os dados simulados de consumo de energia e demanda são obtidos do relatório ES-E (vide ANEXO D), oriundo do ECONOMICS. Os dados reais estão disponíveis na concessionária de energia sob a forma de nota fiscal de conta de energia elétrica, exemplificados na Figura 3.2, e sob a forma de “extratos de consumo de energia”, exemplificados na Figura 3.3. Esta última apresenta valores de consumo e demanda de energia elétrica separados segundo as tarifas vigentes no período.

Figura 3.2 - Exemplificação de nota fiscal de consumo de energia elétrica.

CN130R01 AGENCIA REGIONAL FLORIANOPOLIS EXTRATO D E FATURAMENTO FATURAMENTO: 02/96 CN130CB

CLIENTE ELETROSUL EDIFICIO SEDE ENDERECO R DEP ANTONIO EDU VIEIRA CEP / CIDADE 88000000 - FLORIANOPOLIS NUMERO DA CONTA 1235117-20 CODIGO DE REFERENCIA 01101.19.01.300000

CODIGO DE SERVICIO 0304084 - COM.S.O.A.OSOA HORO/S. VER. A4 CODIGO DE ATIVIDADE 6011 - ESCRITORIOS DE GERENCIA E ADMINISTRACAO DE EMPRESAS INDUSTRIAIS DATA DE LEITURA 28/02/96 DATA DE APRESENTACAO DA CONTA 28/02/96 DATA DE VENCIMENTO DA CONTA 02/03/96 PERCENTUAL DE REDUCAO DO EMPRESTIMO COMPULSORIO : 000,00 PERCENTUAL DE REDUCAO TARIFARIA : 000,00

-----CONSUMO DE KWH-----		-----CONSUMO DE QH-----	
NUMERO DO MEDIDOR	0546248	NUMERO DO MEDIDOR	0546066
LEITURA ATUAL (PONTA - FORA DE PONTA)	9.068.272 98.388.609	LEITURA ATUAL (PONTA - FORA DE PONTA)	8.534.540 99.959.625
LEITURA ANTERIOR (PONTA - FORA DE PONTA)	8.863.659 96.132.769	LEITURA ANTERIOR (PONTA - FORA DE PONTA)	8.365.516 98.030.576
FATOR DE MULTIPLICACAO	0,180000	FATOR DE MULTIPLICACAO	0,180000
PERCENTUAL DE PERDAS POR TRANSFORMACAO	00,0	PERCENTUAL DE PERDAS POR TRANSFORMACAO	00,0
CONSUMO DE KWH (PONTA - FORA DA PONTA)	36.830 406.051	CONSUMO DE QH (PONTA - FORA DA PCNTA)	30.424 347.229
		FATOR DE POTENCIA (PONTA - FORA DE PONTA)	93,59 92,52
		FATOR DE POTENCIA GERAL (PONTA + F. DE PONTA)	92,61

-----DEMANDA (KW)-----			
NUMERO DO REGISTRADOR DIGITAL	042105319		
LEITURA ATUAL DEMANDA MAXIMA (PTA-F.PTA)	1878	2107	1517
LEIT. ANTERIOR DEMANDA MAXIMA (PTA-F.PTA)	1422	2048	1800
LEIT. ATUAL DEMANDA ACUMULADA (PTA-F.PTA)	60898	94602	
LEIT. ANTER. DEMANDA ACUMULADA (PTA-F.PTA)	59020	92495	
FATOR DE MULTIPLICACAO	0,720000	DEMANDA FATURADA (PONTA - FORA DE PONTA)	0 1800
PERCENTUAL DE PERDAS POR TRANSFORMACAO	00,0	DEMANDA DE ULTRAPASSAGEM (PTA - F. PONTA)	0 0

-----VALORES FATURADOS-----			
CONSUMO	-----PONTA-----	-----FORA-----	-----TOTAL-----
DEMANDA	10.895,05	11.341,00	22.236,05
ICMS		6.066,00	6.066,00
TAXA SERV. ILUM. PUBLICA		9.434,02	9.434,02
TOTAL DA FATURA		524,99	524,99
		38.261,06	38.261,06

SERVICO EXECUTADO
 Em: 28/102/96
 Ass.: [Assinatura]
 Nome: José Llu

Figura 3.3 - Exemplo de extrato de faturamento.

COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

A comparação dos resultados simulados com os dados reais é obtida através de planilha eletrônica (o programa EXCEL, da Microsoft). Empregam-se tabelas padronizadas que fornece as diferenças e gráfico, automaticamente. A rotina básica compreende a simulação do modelo em estação SUN; a transferência do arquivo de resultados para um PC; a seleção dos dados mais relevantes; e a transferência de dados para uma planilha do programa Excel, para geração de gráficos, comparação e avaliação. O procedimento é simples, mas demanda tempo em operações medíocres. Outro agravante é que muitas vezes a ocorrência de erros na simulação somente é identificada após o tratamento das informações, inutilizando todo o trabalho.

A princípio, recomenda-se que as diferenças de consumo de energia para cada mês esteja compreendido entre $\pm 30\%$; para uma temporada recomenda-se $\pm 20\%$, segundo Koran et al. (1993). Entretanto, a avaliação de resultados sob diferentes ajustes deve ser coerente, pois são avaliadas as diferenças de cada mês, a média das diferenças mensais para os doze meses e a diferença para um ano.

Uma vez que a bibliografia analisada não cita a ocorrência de tarifas diferenciadas e analisa apenas o consumo de energia total de cada mês, há possibilidades se empregar dados de demanda e consumo para cada período OPU, OFU, OPS, OFS.

3.1.7. Análise de Parâmetros

A análise do comportamento das diferenças mensais permite estabelecer relações de ocorrência, ou seja, diferenças pronunciadas nos meses quentes estão relacionados às variáveis dependentes do clima e diferenças constantes podem estar relacionadas às cargas térmicas constantes como iluminação e equipamentos. Logo, deve-se observar os seguintes itens:

- identificação do tipo de diferenças (caráter aleatório ou sistemático);
- períodos de maior incidência de diferenças;
- levantamento do consumo de energia em meses com pouco uso do condicionador de ar, para correção dos parâmetros do tipo constante como luminárias e equipamentos internos.

3.2. Grupo II ou Calibração Horária

O segundo método de calibração parte de um modelo previamente construído a partir de dados coletados à distância. Com a visita do modelador à edificação sob caráter de auditoria, são realizados diversos levantamentos de variáveis e o modelo é revisto e corrigido. Faz-se a simulação da edificação e posterior comparação dos consumos horários simulados com os dados de memória de massa⁸ emitidos pela concessionária de energia.

3.2.1. Auditoria

A auditoria visa confirmar os dados de entrada e corrigir os erros gerados pela coleta remota. A partir das informações geradas pelas simulações do modelo anterior, o modelador enfatiza a análise de variáveis com maior influência sobre os resultados finais. Consiste em confirmar uma série de variáveis durante uma visita de algumas horas com instrumentação limitada. Esta fase se concentra em:

- confirmação dos dados preenchidos na planilha;
- identificação das áreas climatizadas;
- confirmação dos padrões de funcionamento;
- identificação de fontes de fugas de ar refrigerado e de infiltrações de ar externo.

3.2.2. Monitoração de Temperatura Interna

Devido à influência da temperatura do ambiente sobre as trocas térmicas e sobre o funcionamento do sistema de ar condicionado, recomenda-se que seja registrado um valor médio da temperatura do ambiente, colocando o sensor no retorno dos climatizadores. A monitoração da temperatura interna pode ser realizada sob diferentes formas, dependendo da disponibilidade de equipamentos. Pode ser obtida através medições horárias com um termômetro de bulbo seco, mas pode ser otimizada através do emprego de sistemas de monitoração completos (mede, trata e armazena o sinal). O tamanho reduzido o torna mais discreto e seguro em relação a furtos e a curiosos, a exemplo do modelo “Junior”, da empresa ACR, apresentado na Figura 3.4

⁸ Memória de massa é o termo empregado na concessionária de energia elétrica para designar os arquivos que contém as medições de consumo de energia realizadas a cada cinco minutos para clientes que se enquadram na tarifa energética do tipo horosazonal.

(especificações técnicas estão descritas no ANEXO E). Além disso, sua autonomia de registro (acima de um mês) reduz o trabalho se comparado à forma tradicional.



Figura 3.4 - Sistema de aquisição de temperatura Junior, da ACR.

Através da análise das curvas de temperatura, são abordadas as seguintes variáveis do modelo:

- horário de funcionamento;
- regulagem do termostato, identificado pelas temperaturas uniformes em períodos de ocupação;
- subdimensionamento do sistema de condicionamento de ar, identificado quando a temperatura ultrapassa o valor de regulagem nos períodos de ocupação.

3.2.3. Análise dos Dados Horários de Consumo de Energia (Memória de Massa)

Os dados horários de consumo de energia horária são registros de consumo de energia elétrica obtidos em intervalos de 5 minutos, continuamente registrados pela concessionária de energia elétrica. Como ocupam espaço nos bancos de dados da concessionária, apenas o último mês é acessível ao proprietário da edificação. Os demais meses são apagados.

Neste estágio do modelo, as variáveis são ajustadas a partir do comportamento das diferenças de dados simulados horários com dados horários reais. Em virtude da quantidade de dados, adota-se um mês representativo para proceder à comparação. A simulação deve ser realizada sobre um arquivo climático real, compatível com o período analisado.

Inicialmente, analisam-se os períodos sem ocupação. As únicas cargas de consumo variáveis (dependentes do clima) são creditadas aos poucos ambientes que são

climatizados nestes períodos. Assume-se que identificado o consumo médio destes ambientes, a diferença entre o consumo real e o consumo simulado deva ser creditada às cargas estáveis, como equipamentos e iluminação de toda a edificação.

Nos períodos com ocupação, devem ser avaliados a forma da curva de consumo horário, que evidencia as cargas de consumo associado ao clima, e as cargas com comportamento estável, creditada à iluminação e aos equipamentos.

3.2.4.Arquivos Climáticos Empregados

Devido ao detalhamento do modelo e à especificidade dos dados, as simulações são executadas com dois arquivos climáticos. As avaliações de consumo mensal de energia elétrica empregam o ano climático real de Florianópolis, de 1995. Como as avaliações de consumo horários empregam dados de um único mês de 1996, é criado um segundo arquivo climático com dados reais correspondentes ao período analisado.

3.3.Grupo III - Monitoração de Energia por Uso Final

A monitoração de cargas de consumo classificadas por suas finalidades (ou fins, daí o nome uso final) tem o objetivo de caracterizá-las separadamente. Como as cargas apresentam diferentes formas de representação no modelo, é necessário explicá-las:

- A. Declaração de padrões de uso. Algumas formas de modelagem do consumo de energia são diretas, através da declaração de padrões de uso que especificam o consumo de energia segundo a hora, o dia, a semana e o período no ano. Aplicam-se na modelagem de cargas que apresentam um funcionamento pré determinado, previsível e rotineiro, a exemplo de cargas não dependentes do clima, como iluminação e equipamentos.
- B. Modelagem do equipamento. Consiste na caracterização do equipamento, como o tamanho, o consumo em plena carga, e a condição necessária para ativá-lo. Geralmente está associada aos equipamentos do SYSTEMS e do PLANT, com bombas hidráulicas e climatizadores.
- C. Determinação da eficiência do equipamento. É uma evolução das duas anteriores e é usada em equipamentos que apresentam o consumo de energia associado às variáveis climáticas, como os resfriadores de ar e água. Consiste na reprodução das curvas de eficiência do condicionador de ar ou de eficiência em condições normalizadas, ou seja, quanto o equipamento consome para determinada capacidade de resfriamento, sob determinadas condições. Também são declaradas a quantidade,

a condição de operação (ex: temperatura de saída de água gelada do resfriador de água), a condição de ativação (ex: a partir de determinada temperatura o compressor do condicionador de ar é acionado), e o período que o equipamento fica ligado.

Este grupo de abordagem se concentra sobre os dois primeiros métodos de modelagem: geração de padrões de consumo através da declaração de padrões de uso, e especificação de parâmetros associados à caracterização dos equipamentos. O terceiro método é abordado à parte, em virtude da complexidade apresentada.

3.3.1.Determinação das Cargas

As cargas de consumo são determinadas através de dois métodos básicos, descritos a seguir.

A. Monitoração da corrente elétrica aparente. Emprega-se um sistema de aquisição de dados SmartReader Plus 3 e três alicates amperimétricos. A partir da identificação da corrente aparente de cada fase (Ia, Ib, Ic), assume-se valores médios para a tensão fornecida (U) lidas no voltímetro instalado no transformador do prédio, e os aplica na determinação da potência aparente. A resultante da composição vetorial das três fases é obtida da seguinte equação:

$$kVA = (3)^{1/2} \times V \times I \quad (3.1)$$

onde

kVA= potência aparente (W);

V= tensão média entre as fases A, B e C (V);

I: correntes média entre as fases A, B e C (V).

A potência ativa, que é o parâmetro de comparação da performance do modelo, é obtida da seguinte aplicação:

$$kW = kVA \times \cos \theta \quad (3.2)$$

onde

kW: potência ativa (W);

cos θ : fator de potência.

O fator de potência (cos θ) é obtido do catálogo do equipamento, da sua plaqueta de identificação, ou ainda da monitoração direta das cargas em curto período de tempo

(alguns minutos) com o RE 1000. O equipamento empregado é um sistema de aquisição de dados da ACR[®], modelo SmartReader3, composto por processador e armazenador de dados, três transdutores de medição de corrente (até 250 Ampères), e um quarto transdutor de temperatura de bulbo seco, conforme Figura 3.5.

B. Monitoração da demanda elétrica. Emprega-se um sistema de aquisição de dados RE1000, de propriedade da Eletrosul (uma unidade) e da Celesc (três unidades), que mede e armazena dados de correntes, tensões e respectivos ângulos de defasagens de cada fase. Proporciona cargas ativas, reativas e aparentes, em intervalos de 15 minutos. O aparato ilustrado na Figura 3.6 é indicado para medição de tensões superiores a 100 V e correntes até 1000 A.

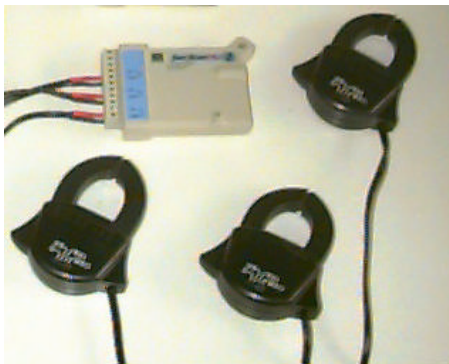


Figura 3.5 - Equipamento de monitoração de corrente aparente.



Figura 3.6 - Medição de cargas elétrica com o RE1000.

A medição direta de cargas é empregada na determinação do consumo de iluminação, de equipamentos e dos resfriadores de líquido, enquanto o segundo método é destinado ao levantamento do uso final de elevadores, bombas hidráulicas e outros equipamentos de menor carga.

3.3.2. Análise do Diagrama Unifilar

A determinação dos pontos de monitoração deve considerar a estrutura de distribuição de energia elétrica interna, para aproximar o máximo possível de seu objetivo, que é a medição isolada das cargas de consumo. Logo, é imprescindível a análise do diagrama unifilar da edificação, da subestação de entrada aos painéis de energia.

A exemplo da Eletrosul, Figura 3.7, o sistema apresenta três transformadores após a subestação de entrada identificados por Trafo1, Trafo2 e Trafo3.

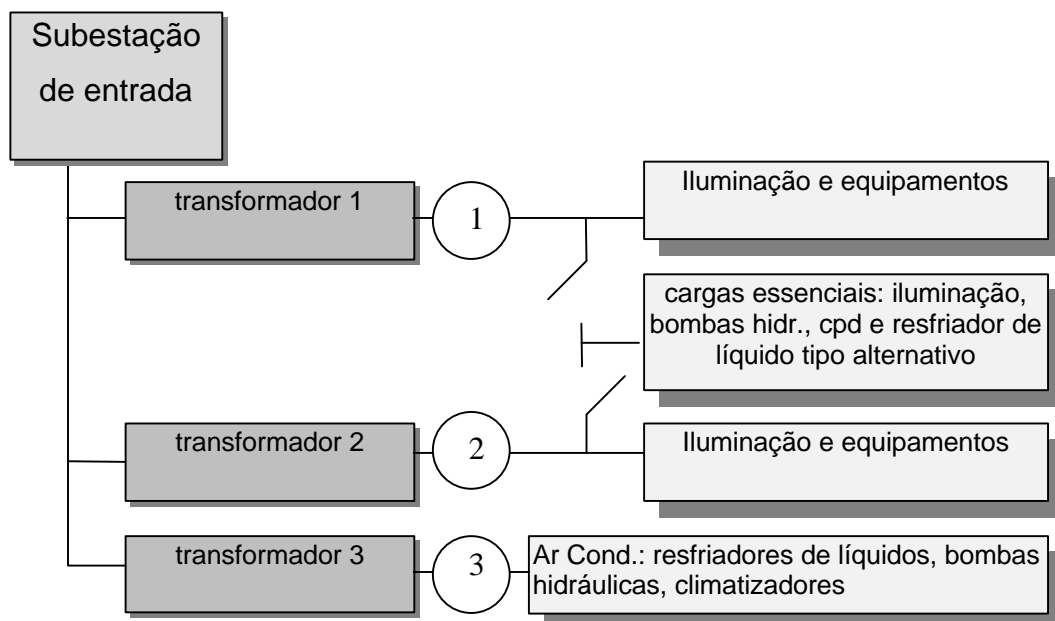


Figura 3.7 - Diagrama unifilar.

Os dois primeiros atendem cargas de iluminação e equipamentos (separados entre si), e atendem também a um terceiro grupo (ora Trafo1, ora Trafo2), formado pelas cargas essenciais, que sempre devem estar energizados (é assistido por um gerador de emergência). A separação das cargas de iluminação e de equipamentos ocorre somente nos quadros de distribuição: são oito por andar. Em síntese, é possível caracterizar os seguintes grupos segundo o uso final:

- Trafo 1 e Trafo 2: equipamentos e iluminação do prédio em geral;
- Trafo 3: 2 resfriadores de líquido de 400 TR (cada), bombas de água, fotocopiadoras e climatizadores;

- cargas essenciais: equipamentos e iluminação do CPD e algumas áreas do térreo e subsolo, bombas de recalque da caixa de água e reservatório para combate a incêndios, serviço auxiliar do gerador, carregamento de baterias, resfriador de líquido alternativo de 100 TR e bombas de água, serviço de comunicação, e iluminação do auditório.

3.3.3. Projeto de Monitoração

A premissa básica do projeto de monitoração consiste na separação das cargas de consumo dependentes do clima daquelas não dependentes do clima. Analisando os transformadores 1 e 2, é possível atribuir as cargas essenciais para somente um dos transformadores. Para garantir a exclusão das cargas essenciais, a monitoração das cargas dos dois transformadores deve ser realizada em períodos diferentes, porém representativos, nos pontos 1 e 2 da Figura 3.7.

Como a separação da monitoração das cargas de equipamentos em relação às cargas de iluminação tem se mostrado inviável, haja visto que se separam após o quadro de distribuição de energia (oito por andar), a alternativa encontrada é medi-las em conjunto e separá-las por análise de padrões de acionamento. Como a iluminação é acionada antes dos equipamentos e se apresenta constante durante os períodos de funcionamento, é possível distinguir as cargas acrescidas pelos equipamentos. Da mesma forma, o caráter uniforme dos padrões de acionamento permite considerar que a monitoração de um dia seja representativa para todos os dias úteis do ano. As cargas exclusivas de iluminação e de equipamentos do Trafo1 e Trafo2 são monitoradas nos pontos identificados como 1 e 2 na Figura 3.7.

As maiores cargas de consumo dependentes do clima estão restritas ao Trafo 3. Entretanto suas cargas de consumo também são compostas por cargas não dependentes do clima, como climatizadores e bombas hidráulicas. Para separá-las, faz-se necessário monitorar as cargas totais e as cargas dos dois resfriadores de líquido do tipo centrífugo, paralelamente. As cargas totais são monitoradas no ponto 3 da Figura 3.7 e os resfriadores são monitorados diretamente em seus painéis de comando. Dessa forma, as cargas dependentes do clima são atribuídas exclusivamente aos dois resfriadores, enquanto que as cargas não dependentes do clima são obtidas subtraindo as cargas dependentes do clima das cargas totais do Trafo 3. Esta medida permite caracterizar o conjunto de bombas hidráulicas, de climatizadores e a torre de arrefecimento.

No caso das cargas essenciais que estão ora num Trafo, ora noutra, aplica-se o mesmo procedimento, monitorando em períodos que as cargas essenciais estão no Trafo e em períodos que não estão. Dessa forma, a diferença entre elas é creditada à presença das cargas essenciais.

3.3.4.Arquivo Climático Empregado

Considerando que os padrões de uso identificados nesta abordagem estão consolidados há anos, emprega-se o arquivo climático real de Florianópolis, de 1995.

3.4.Grupo IV - Estimativa de Eficiências dos Resfriadores de Líquido

A modelagem dos equipamentos de condicionador de ar emprega índices e curvas de eficiência denominado COP (coeficiente de performance), que relaciona a sua capacidade de refrigeração com seu consumo de energia elétrica. Esta forma é compatível com as indicações da ASHRAE. Como a determinação das curvas de eficiência envolve um longo e apurado trabalho de monitoração de diversas variáveis, optou-se pela identificação da eficiência nominal do equipamento, a uma condição próxima de temperatura de entrada de água (ou ar) de condensação de 29,4°C, e de saída de água a 6,7°C. A eficiência é estimada através da monitoração das temperaturas de entrada e saída de água gelada do resfriador, medidas por termopares ligados a um Smartreader Plus 6 (dados técnicos apresentados no ANEXO E). O consumo pode ser obtido indiretamente através da medição da corrente e tensão (monitoração por garras amperimétricas ligadas a um Smartreader Plus 3) ou diretamente com equipamentos do tipo RE1000, conforme ilustração na Figura 3.8.

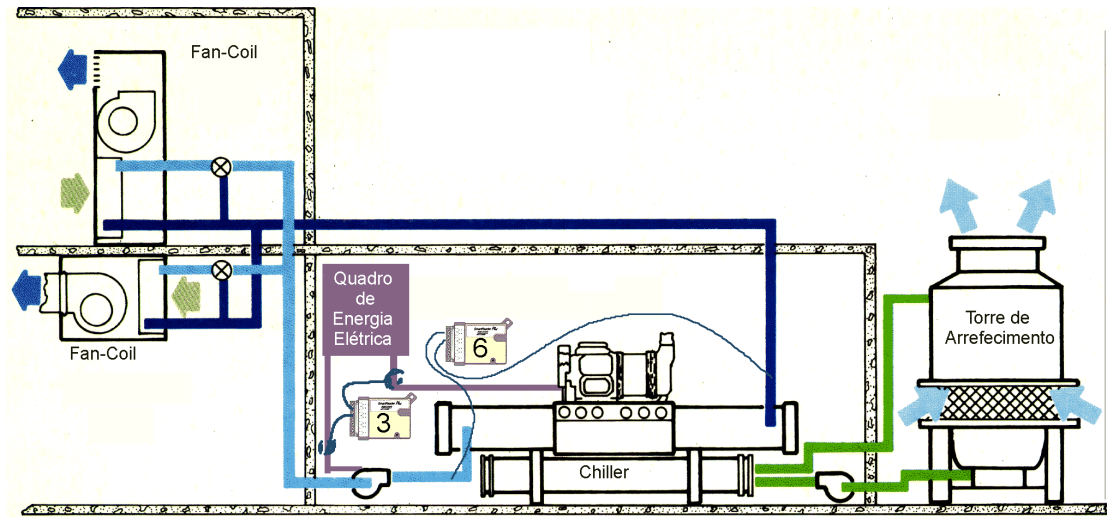


Figura 3.8 - Monitoração de rendimento do sistema de condicionamento de ar.

Adotando um valor de vazão de água obtida de projeto, ou estimada indiretamente através das curvas das bombas hidráulicas, ou ainda medida diretamente, a capacidade de refrigeração instantânea é obtida da eq.(3.3).

$$q = c \cdot \rho \cdot m \cdot (T_e - T_s) \quad (3.3)$$

onde

q = capacidade de refrigeração (W);

c = calor específico da água a 12 °C (J/kg K);

ρ = densidade da água (kg/m³);

m = vazão de água de projeto (m³/s);

T_e , T_s = temperatura de entrada e saída da água gelada, respectivamente (°C).

Ao final dessa abordagem, espera-se obter dados suficientes para promover a modelagem dos resfriadores de líquido. A partir do conhecimento de suas variações é possível interpretar os perfis de consumo do Trafo 3 e das cargas essenciais e separar as cargas de consumo de variáveis não dependentes do clima, para posterior modelagem dos padrões.

3.5. Grupo V - Calibração de Modelos para Curtos Períodos de Tempo (STEM)

O quinto e último grupo de abordagens privilegia a monitoração de variáveis pertinentes ao envoltório e ao sistema de climatização artificial (não avaliados no MCT), num período compreendido entre 3 e 21 dias. O processo é detalhado no

relatório interno da empresa *Kaplan Engineering, Portland Energy Conservation Inc.* (1991) e no artigo de KORAN et al. (1993). Ao contrário do trabalho de KORAN et al. (1992,1993) que estimula os testes de STEM em dias preferencialmente frios, os testes desta dissertação tem preferência por dias quentes, para evidenciar o uso do sistema de climatização.

Para adaptar o método original que emprega aquecedores elétricos para determinação da transmitância térmica global da edificação, optou-se pela realização concomitante do teste de coeficiente de carga da edificação e do teste de eficiência do sistema de climatização artificial. Dessa forma, considera-se que a capacidade de refrigeração do sistema de climatização seja equivalente ao fluxo de calor através do envoltório somado às perdas de calor decorrentes da infiltração, conforme eq. (3.4) a seguir.

$$Q_{\text{ar-condicionado}} = UA \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) + Q_{\text{inf}} \cdot (J_{\text{int}} - J_{\text{ext}}) \quad (3.4)$$

onde

$Q_{\text{ar-condicionado}}$ = capacidade de refrigeração (W);

U = transmitância térmica global da edificação ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$);

A = área global da edificação (m^2);

$T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}$ = diferença de temperatura interna e externa ($^{\circ}\text{C}$);

Q_{inf} = fluxo de massa de ar exterior (kg/s);

$J_{\text{int}} - J_{\text{ext}}$ = diferença de entalpia interna-externa (J/kg).

Estes primeiros testes devem ser executados sob as seguintes condições:

- análise dos dados monitorados durante a madrugada, para minimizar os efeitos de ganhos solares e inércia térmica;
- redução máxima possível das cargas internas, como iluminação interna e equipamentos elétricos;
- redução máxima das cargas de infiltração, com o fechamento de aberturas.

Como estas medições são realizadas em intervalos de 1 minuto, atribui-se uma vazão de infiltração constante. Dessa forma, obtém-se os valores para a transmitância global e para a vazão, assim com a variação média destas variáveis. Naturalmente, quanto mais leve a edificação, menor o número de ajustes.

A identificação do calor específico médio é obtido do teste de capacitância térmica. Executado à noite, desliga-se o ar condicionado e a edificação se aproxima de uma condição de equilíbrio com o exterior. A taxa de resfriamento ou aquecimento (segundo os ganhos de calor) é função do coeficiente de carga da edificação e da sua

capacitância. Uma vez determinado o coeficiente de carga da edificação, a capacitância térmica é determinada. Ainda negligenciando os ganhos solares, a equação simplificada de balanço de energia para o período de resfriamento é:

$$M \cdot c_p(\delta T/t) = UA \cdot (T_{int}-T_{ext}) + Q_{inf} \cdot (J_{int}-J_{ext}) \quad (3.5)$$

onde

M = massa da edificação (kg);

c_p = calor específico médio (J/kg K);

$\delta T/t$ = derivada parcial da temperatura no tempo (°C/s).

A equação anterior assume que mudanças de temperatura da massa da edificação apresentam a mesma taxa da temperatura do ar. Ajusta-se o coeficiente c_p para aproximar o modelo dos resultados.

As cargas térmicas creditadas aos ganhos solares são obtidas indiretamente através da medição da carga de resfriamento do equipamento de condicionamento de ar e integração dos valores para cada hora. Através da aplicação direta da eq.(3.6), comparam-se as cargas térmicas horárias com os valores simulados e ajusta-se as variáveis que caracterizam as aberturas.

$$Q_{refrigeração} - Q_{solar} = UA (T_{int}-T_{ext}) + Q_{inf} \cdot (J_{int}-J_{ext}) \quad (3.6)$$

Nesta simulação adiciona-se os valores de insuflamento de ar externo promovido pelos ventiladores centrífugos no coeficiente Q_{inf} . Esta medida tem o objetivo de atenuar a incerteza gerada pela infiltração.

A temperatura interna da edificação é monitorada com sensores Junior (ACR), localizados nas zonas mais representativas. As cargas elétricas associadas à iluminação e equipamentos são monitoradas com medidores localizados junto aos transformadores de entrada de energia do prédio.

A capacidade de refrigeração dos refrigeradores de água gelada é obtida do monitoração das temperaturas de entrada e saída de água gelada dos resfriadores de líquido, de maneira análoga às medições de eficiência destes equipamentos apresentados anteriormente.

4. Resultados Obtidos

Os resultados obtidos sempre para o mesmo caso, o edifício sede da Eletrosul, estão classificados pelos grupos definidos na metodologia. São apresentados as formas de elaboração de cada modelo, sua evolução e os respectivos resultados de consumo de energia elétrica. Novas questões são levantadas e avaliadas durante o desenvolvimento dos métodos.

4.1. Grupo I

Nessa primeira abordagem foi escolhido o ano de referência antes mesmo de modelar a edificação. O ano climático definido para a simulação é o arquivo climático TRY de Florianópolis porque era o único disponível durante as primeiras simulações. No decorrer da abordagem foi criado e avaliado o emprego de um arquivo climático compatível com o ano de referência.

Os primeiros modelos foram criados a partir de dados exclusivos da planilha de coleta de dados apresentada no ANEXO A. Seu preenchimento foi realizada pelo técnico em edificações e acadêmico do curso de Eng. Civil Vilmar Güttnner Vieira e pelo Eng^o Eletricista Fernando Mussoi, ambos vinculados à Eletrosul a época de análise. Os modelos foram progressivamente melhorados a partir de consultas ao projeto arquitetônico e ao relatório de carga instalada.

4.1.1. Ano de referência

A análise do histórico de consumo de energia elétrica mensal dos últimos anos apresentado na Figura 4.1 indica que as maiores oscilações entre meses ocorreu em 1994 e 1996, enquanto que 1995 apresenta uma evolução mais suave entre os meses e se aproxima mais da média entre os anos de 1994 e 1996. Como é o ano mais completo e recente (no início das simulações), seu uso é o mais indicado.

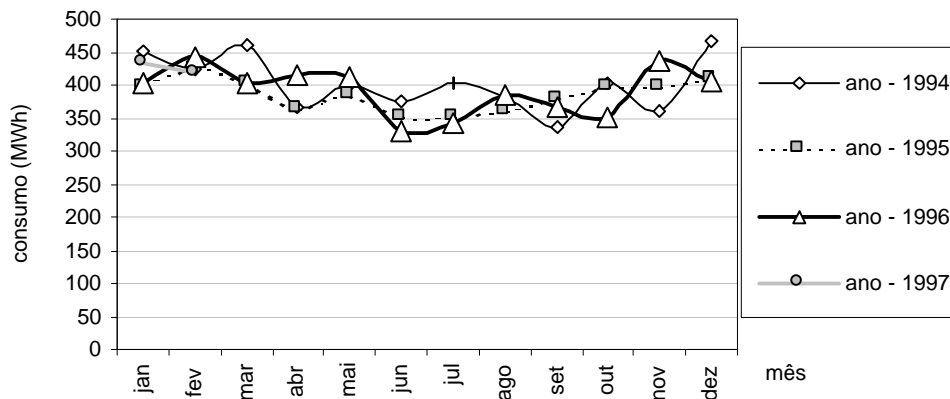


Figura 4.1 - Evolução do consumo de energia do edifício da Eletrosul de 1994 ao início de 1997.

4.1.2. Modelo Inicial: *Planilha*

O primeiro modelo se baseia em dados da planilha de coleta de dados, em relatório final de carga instalada, em consultas telefônicas aos técnicos, em esboço da arquitetura do prédio e faz grande uso de bibliografia pertinente, como as publicações da ASHRAE. A seguir, são apresentadas as principais variáveis de entrada.

ORIENTAÇÃO GEOGRÁFICA DA EDIFICAÇÃO

Empregou-se uma bússola com menor divisão de escala de 5° , e incerteza de medição de $\pm 5^\circ$. A declinação magnética de Florianópolis foi estimada em 16° W (oeste), e foi obtida através do acompanhamento da sombra solar de uma vareta vertical, próximo ao meio-dia. Considera-se que a menor sombra tem a orientação do norte verdadeiro.. Aplicada a declinação magnética sobre o valor medido da normal à fachada principal, de 134° , obtém-se uma orientação de 118° em relação ao norte verdadeiro, exemplificado no desenho esquemático da Figura 4.2. Combinados os erros da medições da normal à fachada e do norte verdadeiro, assume-se que a incerteza do valor final é de $\pm 10^\circ$.

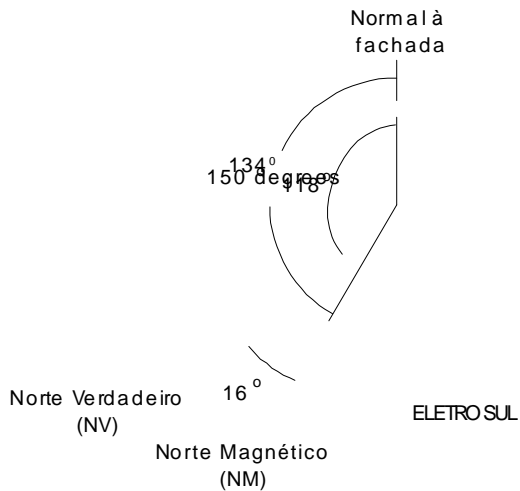


Figura 4.2 - Medição da orientação geográfica da edificação.

MODELAGEM DOS ESPAÇOS

O primeiro modelo empregou a forma clássica exemplificada nos manuais do DOE-2, que consiste no detalhamento das faces dos espaços (paredes, teto, piso) e aberturas através de coordenadas cartesianas e inclinações. É empregada principalmente em situações com sombreamentos causados pelas faces da edificação (típico para edificações com formas complexas). Essa forma de modelagem foi escolhida porque é a mais detalhada e fiel em relação à edificação.

CARACTERIZAÇÃO DE USO DOS ESPAÇOS

Considera-se que os ambientes apresentam a mesma forma de ocupação e de uso, com as seguintes características:

- número de ocupantes: 1379, com geração de 131,6 W/pessoa (metabolismo);
- área por pessoa: 19,97 m²/pessoa;
- potência de iluminação: 27,56 W/m²;
- potência de equipamentos: 26,91 W/m² (60% de carga sensível);
- trocas de ar do ambiente a cada hora: 2,4 trocas/hora.

PADRÕES DE USO (SCHEDULES)

Adotou-se dois padrões: um para ocupação do prédio (Figura 4.3) e outro para uso de iluminação e equipamentos (Figura 4.4).

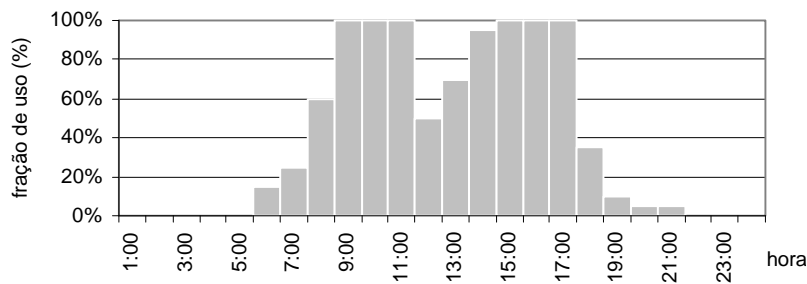


Figura 4.3 - Padrões de uso de ocupação.

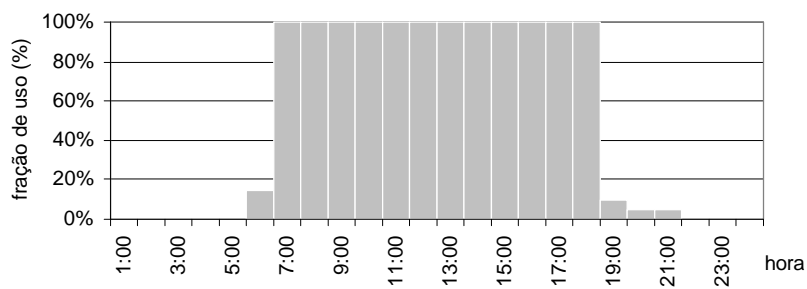


Figura 4.4 - Padrões de uso de Equipamentos e iluminação.

DADOS CONSTRUTIVOS

A caracterização dos materiais de construção da edificação declarados na planilha empregou valores da biblioteca de materiais do DOE-2 e valores médios obtidos do texto base para norma: Projeto Normalização em Conforto Ambiental: “Desempenho Térmico de Edificações: Cálculo da Transmitância e da Capacidade Térmica de Elementos e Componentes” elaborado por GHISI e LAMBERTS (1997). O procedimento adotado caracteriza a condutividade térmica, a densidade e o calor específico de cada material empregado, como reboco, tijolo e concreto, e especifica o composto mediante declaração da ordem de cada material (sentido de fora para dentro) e sua espessura.

ABERTURAS

As aberturas são compostas por um único painel de vidro e sua caracterização é baseada no coeficiente de sombreamento solar (*shadding coefficient*, ou SC). É a relação entre o fator solar da abertura em questão e o fator solar de um vidro de referência (vidro simples com três mm de espessura. Conforme pode ser observado na Figura 4.5, há uma proteção externa em frente de todas as áreas envidraçadas, com inúmeras

possibilidades de regulagem da abertura, com acionamento interno pelo usuário da zona (detalhe).

A forma de obtenção do coeficiente de sombreamento solar consiste em aproximar a veneziana para o modelo apresentado na Figura 4.6 e aplicá-lo na TABELA 4-1, ainda que seja orientada para venezianas pretas e escuras. Entretanto, a maior dificuldade da modelagem da abertura é a identificação de um valor que seja representativo para todas as fachadas e durante todo o ano, uma vez que varia de usuário para usuário e de acordo com o período do ano. Em virtude dessa variabilidade, somente afirma-se que o valor de coeficiente de sombreamento está compreendido entre 0,15 e 0,51 (faixa de valores do método). Face a esta dificuldade, optou-se pelo valor médio: 0,33.



Figura 4.5 - Brise com acionamento interno, do edifício sede da Eletrosul.

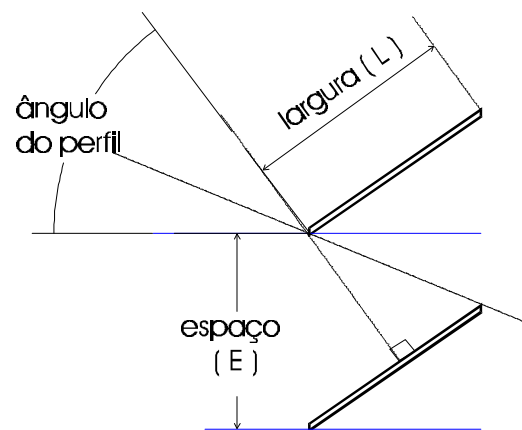


Figura 4.6 - Desenho esquemático de venezianas externas.

Fonte: 1985 FUNDAMENTALS - ASHRAE HANDBOOK, cap. 26, 1985

TABELA 4-1 - SC para venezianas externas.

Grupo	ângulo de perfil			
	10	20	30	+ de 40
preta, L/E= 1,15	0,35	0,17	0,15	0,15
preta ou escura, L/E= 0,85	0,51	0,42	0,31	0,18

Fonte: TAB. 41, p.27.40, 1985 ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS. SI Ed.

MODELAGEM DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO ARTIFICIAL

O SYSTEMS e o PLANT empregaram o formato padrão de entrada do DOE-2, com o maior número possível de *defaults*, devido à dificuldade de caracterização destes equipamentos pelos usuários da edificação. Considerou-se que o sistema de climatização funciona ininterruptamente das 6:00 às 18:00 horas, com temperaturas de *set-point* de refrigeração de 24 °C. O modelo de resfriador de líquido escolhido foi o do tipo centrífugo e o dimensionamento do sistema foi automático, realizado pelo programa, bem como as demais características das torres de arrefecimento, bombas hidráulicas e climatizadores.

RESULTADOS DO MODELO PLANILHA

Os valores de consumos mensais foram superestimados em até 145% do real (para o mês de janeiro), provavelmente devido à ocupação reduzida. Conforme pode ser verificado na Figura 4.7, a diferença é mais acentuada nos períodos quentes. Com exceção do mês de fevereiro, a curva se mostra decrescente até junho. A partir desse mês, há um aumento crescente até dezembro.

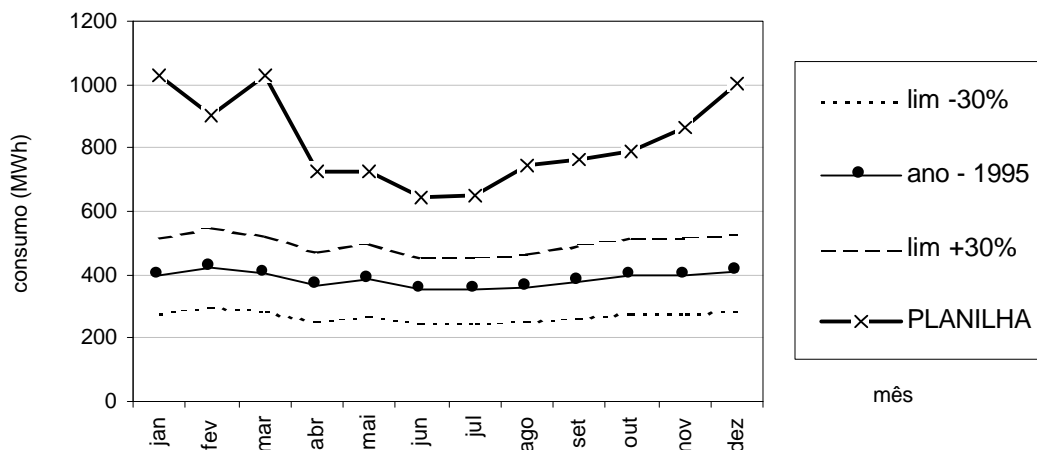


Figura 4.7 - Curva de consumo mensal do modelo PLANILHA.

A análise da diferença do consumo mensal, Figura 4.8, demonstra diferenças inaceitáveis durante todo ano. O comportamento da diferença da demanda mensal demonstra superestimativas ainda maiores entre valores simulados e reais.

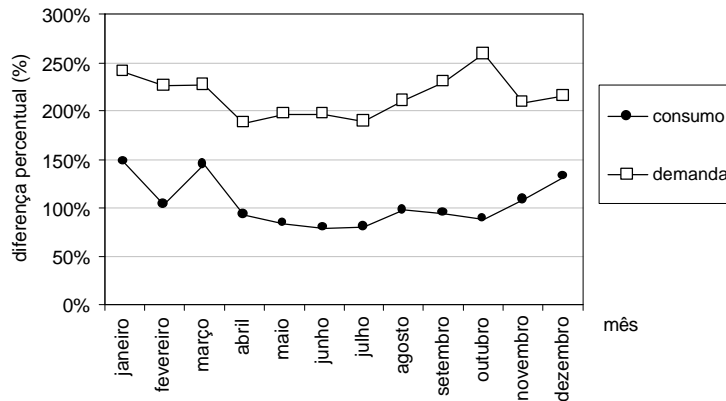


Figura 4.8 - Diferenças entre consumo e demanda entre o modelo PLANILHA e histórico real de 1995.

4.1.3. Geometria : Modelo *PLANILHA-GS (Geometria Simplificada)*

Ainda que essa abordagem não esteja apresentada na metodologia proposta, observou-se, durante a confecção do primeiro modelo, que a caracterização dos espaços geométricos durante a fase do trabalho é mais suscetível a erros. Como há expectativas de criação de outros modelos no desenrolar dos trabalhos, testou-se uma segunda forma mais simplificada. Consiste em representar os espaços através da declaração de área de piso, teto e paredes internas e externas, inclinação das faces, volume dos ambientes e citação dos ambientes anexos (as duas formas são exemplificadas no ANEXO F). Para identificar sua influência, foi criado um segundo modelo com as mesmas características do PLANILHA, com o nome de PLANILHA-GS (de geometria simplificada).

O modelo PLANILHA-GS apresentou demanda e consumo anual médio de energia 4% inferior ao modelo anterior, enquanto que as diferenças mensais variaram entre 2% e 6%, conforme representação gráfica da Figura 4.9. A tendência de acentuar as diferenças nos períodos quentes é atribuída ao tratamento dado à radiação solar.

Como as diferenças são aceitáveis diante das performances obtidas e dos benefícios do método, como rapidez da modelagem (demorou 50% menos tempo que o primeiro) e há menos possibilidade de erros durante criação, a simples declaração das áreas (modelo PLANILHA-GS) se justifica para as modelagens posteriores.

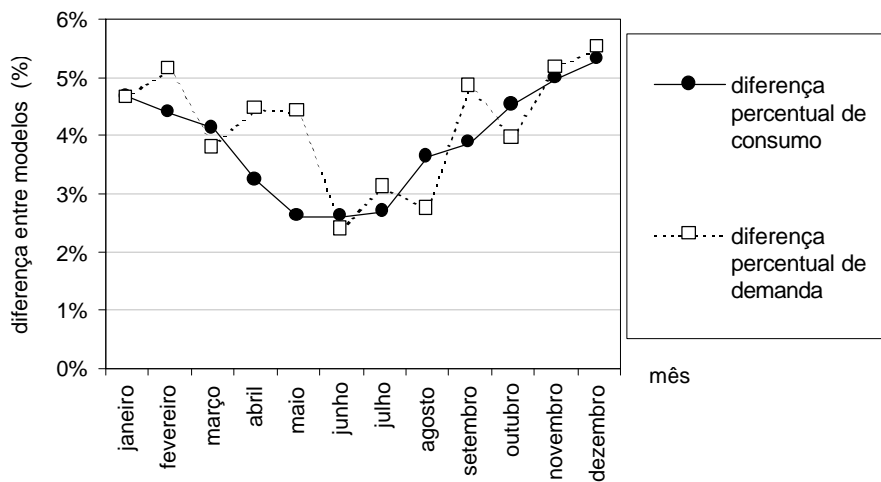


Figura 4.9 - Diferenças de consumo e demandas mensais entre os modelos PLANILHA e PLANILHA-GS.

4.1.4. Análise de Sensibilidade

As variáveis abordadas nestas simulações foram escolhidas a partir de análise do relatório de saída LS-F (vide ANEXO C) que apresenta o comportamento das cargas térmicas mensais para cada fonte, conforme representação gráfica da Figura 4.10. A alta carga térmica decorrente da laje, responsável por 74,3% da carga térmica total anual, denuncia um comportamento irregular. Antes de prosseguir com as análises de sensibilidade, faz-se necessário rever a caracterização da laje.

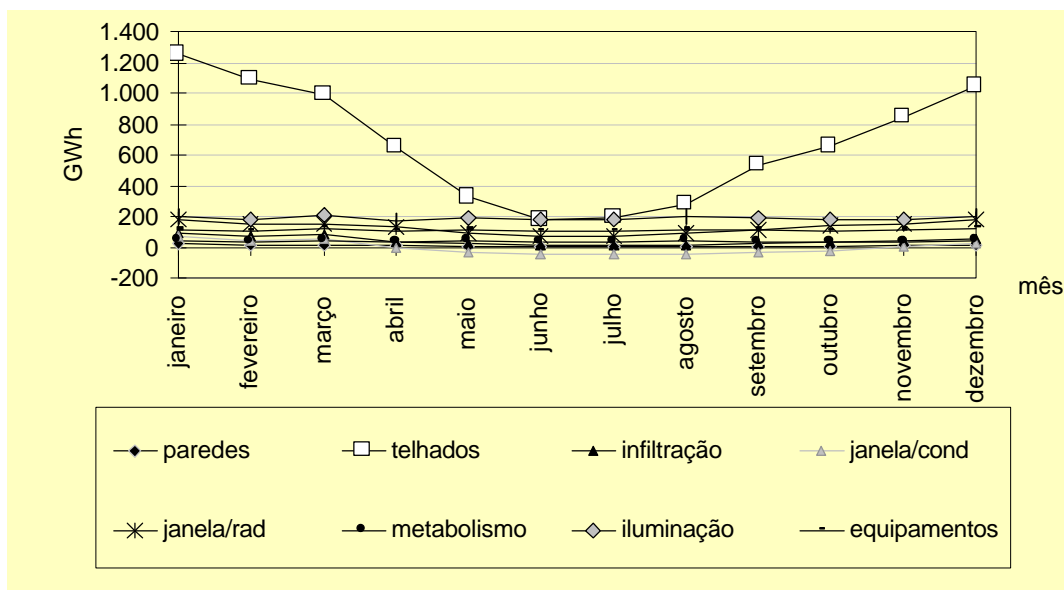


Figura 4.10 - Cargas térmicas mensais.

4.1.5. Modelo *PLANILHA-GSLAJE*

Novo questionamento sobre a composição da laje foi passado aos técnicos da Eletrosul que acompanharam a construção da edificação. Ao contrário do que foi declarado na planilha (laje simples de 100 mm de espessura), a laje apresenta um perfil complexo e diferente dos padrões construtivos usuais. Conforme pode ser observado na Figura 4.11, que corresponde à metade de um vão livre, há um pilar de sustentação à esquerda, uma laje nervurada de 100 mm de espessura por cima, apoiada sobre outra laje de perfil variável, na parte inferior. Entre as duas, há um preenchimento de tijolos de seis furos, semelhante à uma parede. E por último, há uma câmara limitada pelo forro, responsável pelo retorno de ar climatizado, para a sala dos climatizadores.

O cálculo da resistência térmica da laje empregou um método similar à forma de caracterização de compostos empregados no DOE-2. Consiste em declarar as camadas de materiais, suas espessuras e suas propriedades termofísicas. Como as camadas da laje não são homogêneas, obteve-se valores equivalentes de resistência térmica (R_1 , R_2 , R_3 e R_4 da Figura 4.11) e capacitância térmica (C_{T1} , C_{T2} , C_{T3} e C_{T4} da Figura 4.11) baseados no método descritos no capítulo 5, do Projeto de Normalização em Conforto Ambiental, UFSC - FINEP, para as quatro seções representadas à direita da figura. As resistências térmicas superficiais empregadas são as da biblioteca do programa: a interna é de 0,16 $m^2.K/W$ e a externa é função do vento e das características superficiais da parede.

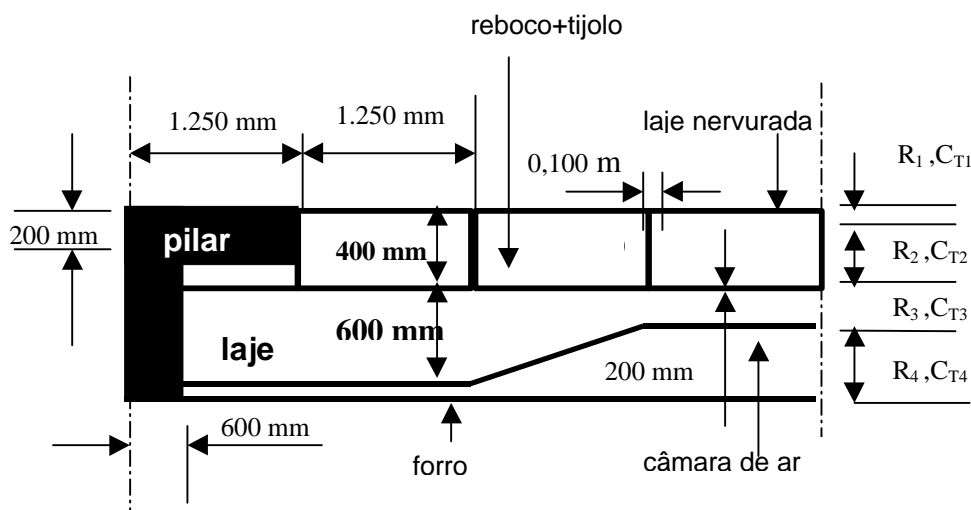


Figura 4.11 - Detalhe de construção da laje do teto.

A primeira camada é formada essencialmente por uma camada de concreto de 100 mm de espessura. A segunda seção compreende resistências térmicas paralelas de concreto e um composto caracterizado por tijolo e argamassa de assentamento, de 300 mm de espessura. A terceira seção é novamente laje com 450 mm de espessura. A quarta e última camada é uma câmara de ar, com espessura média de 150 mm de altura, muito ventilada. A caracterização de cada camada está representada na TABELA 4-2.

TABELA 4-2 - Características termofísicas das seções da laje.

valores médios para cada seção	seção			
	1	2	3	4
espessura (m)	0,10	0,30	0,45	0,15
condutividade térmica (W/m K)	1,75	0,813	1,75	0,60
densidade (kg/m ³)	2.210	1.756	2.210	1,60
calor específico (kJ /kg K)	1,00	0,74	1,00	0,04

A modelagem da laje empregou a forma básica, que consiste em caracterizar cada material, sua espessura e sua disposição no conjunto. Entretanto, é possível afirmar que a resistência térmica da laje (excluindo a câmara de ar sob a laje) evoluiu do modelo inicial, com 0,057m²K/W, para 0,724 m² K/W⁹.

A retificação da modelagem da laje teve um grande impacto sobre o comportamento das cargas térmicas, conforme apresenta o gráfico da Figura 4.12. Além dos valores se apresentarem coerentes, a evolução das curvas de cargas dependentes do clima, como cargas térmicas da laje, de convecção e condução das janelas e piso, passam a resfriar a edificação nos períodos mais frios.

A carga de radiação das janelas evolui uniformemente como a radiação solar. As cargas térmicas não dependentes do clima, como de iluminação, de equipamentos e de ocupantes se mantêm proporcionais ao número de dias úteis de cada mês.

⁹ A unidade de resistência térmica é por área (em m²) tal qual se usa na bibliografia pertinente a troca de calor em edificações e nos manuais do DOE-2.

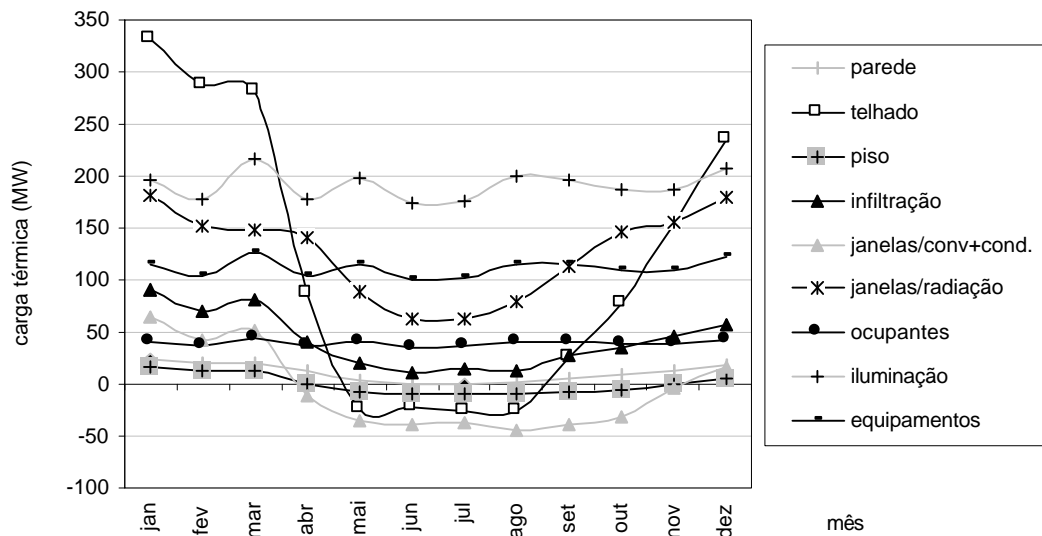


Figura 4.12 - Cargas térmicas mensais após correção da laje.

O efeito da correção da laje é avaliado na confrontação do consumo mensal de energia elétrica, conforme Figura 4.13. Embora as diferenças entre o consumo real e o simulado sejam superiores à 30%, observa-se uma grande evolução do modelo PLANILHA-GSLAJE em relação ao modelo PLANILHA-GS.

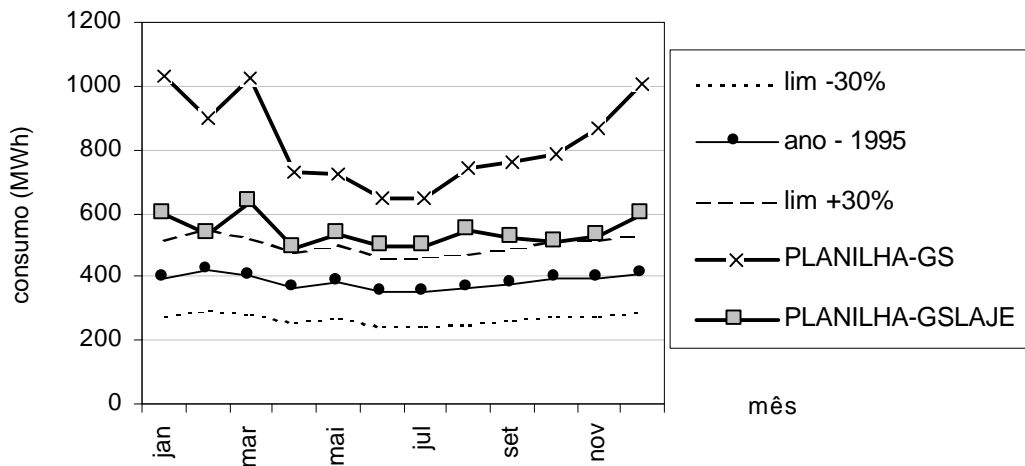


Figura 4.13 - Evolução dos consumos dos arquivos PLANILHA-GS e PLANILHA-GSLAJE.

Observa-se também na Figura 4.13, que há uma aproximação da forma do último perfil simulado em relação ao perfil real, ou seja, as diferenças se mantêm mais

uniformes, ao contrário do modelo anterior que acentuava as diferenças nos períodos mais quentes.

4.1.6. Geometria: Modelo PLANILHA-GSLAJE

O modelo PLANILHA-GSLAJE também foi submetido a uma variação de forma de caracterização de sua geometria para quantificar sua influência sobre o consumo de energia mensal. Empregando-se as mesmas declarações geométricas do modelo PLANILHA, foi gerado o modelo PLANILHA-LAJE, para posterior comparação com o modelo PLANILHA-GSLAJE.

A confrontação dos resultados de consumos mensais de energia elétrica confirma a tendência apresentada anteriormente, que indicava uma diferenciação do tratamento de transferência de calor para superfícies horizontais. Neste caso, onde as características de cobertura foram corrigidas, a influência se tornou desprezível: há praticamente uma sobreposição das curvas de consumo dos modelos PLANILHA-GSLAJE e PLANILHA-LAJE. A geometria pouco influencia o consumo de energia mensal, gerando diferenças inferiores à 1,0%. Entretanto, sua evolução anual é variável, conforme Figura 4.14.

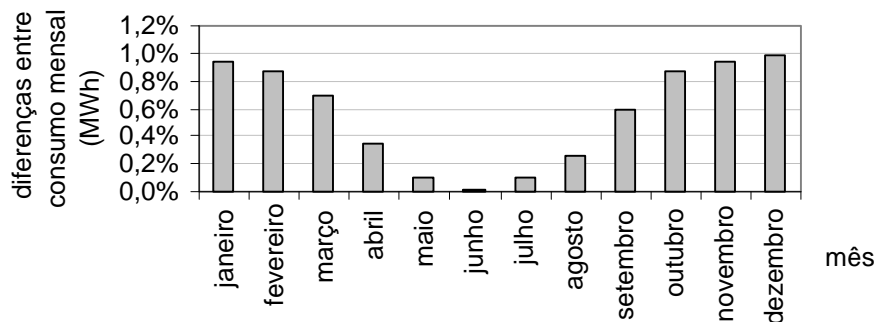


Figura 4.14 - Diferenças entre o consumo de energia mensal dos modelos PLANILHA-LAJE e PLANILHA-GSLAJE.

4.1.7. Levantamento de Incertezas

O levantamento das incertezas das variáveis auxiliares auxilia a análise da sensibilidade do modelo. Entretanto, o trabalho deve ser otimizado, mediante abordagem somente das variáveis mais influentes sobre os resultados, que estão relacionadas com as principais fontes de carga térmica. Para o modelo PLANILHA-LAJE, foram selecionadas as principais fontes de carga térmica, apresentadas na Figura 4.15.

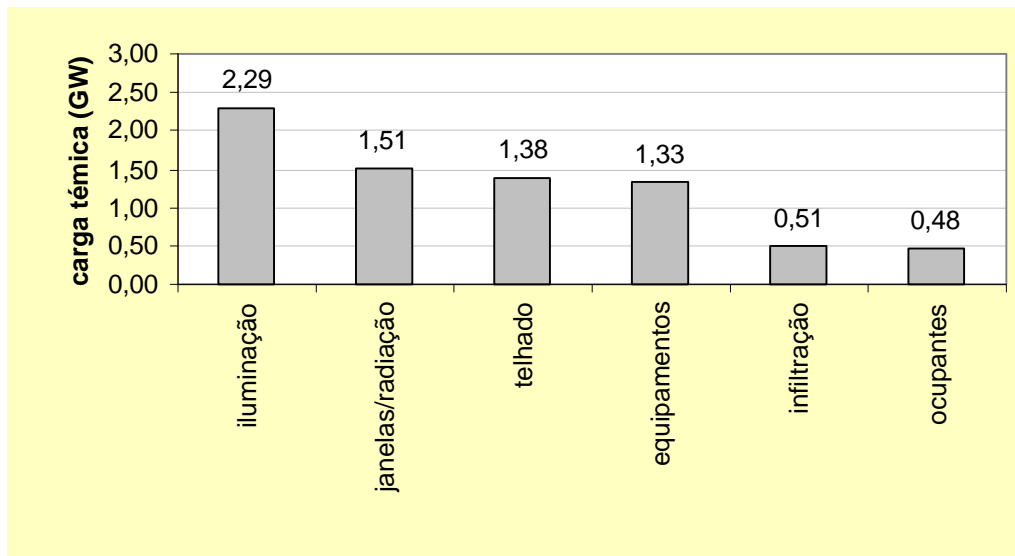


Figura 4.15 - Principais componentes de cargas térmicas anuais.

A partir da análise do gráfico apresentado, observa-se que a iluminação é a principal componente, seguido por um grupo equiparável formado pela radiação solar incidente pelas aberturas, a condução pelo telhado e a geração de calor por equipamentos elétricos. Noutro nível seguem as cargas térmicas de infiltração e calor gerado por metabolismo de ocupantes.

A seguir, são exploradas formas de determinação das incertezas das variáveis associadas às principais cargas térmicas.

CARGA TÉRMICA DE ILUMINAÇÃO

O cálculo da carga térmica gerada por lâmpadas apresenta algumas considerações. O DOE-2.1E simula apenas quatro diferentes tipos de luminárias, do tipo incandescente e fluorescente e ventiladas ou não. Também apresenta um comando para determinar as perdas de calor para o ambiente: é um índice entre 0,0 e 1,0 que age como multiplicador do valor de potência nominal da lâmpada. No caso da edificação estudada, coexistem lâmpadas fluorescentes de 40W com duas lâmpadas por reator, do tipo fluorescente PL e incandescentes. Devido à essa característica, optou-se pela declaração da densidade de cargas de iluminação, baseada em dados de dissipação de calor de lâmpadas e de reatores, divulgada pelos fabricantes. Determinou-se uma variação de 24,8 W/m² a 28,0 W/m².

RADIAÇÃO SOLAR

Conforme a abordagem das aberturas no modelo PLANILHA, a maior dificuldade encontrada até o momento é a caracterização das venezianas externas, que são reguladas pelo usuário, e por isso apresentam uma grande variabilidade. Diante dessa situação, optou-se em adotar uma faixa de valores possíveis de coeficiente de sombreamento: de 0,15 a 0,51.

COBERTURA

A variabilidade das propriedades termofísicas da laje estão associadas sobretudo à sua saturação em água. Considerando-se que os valores adotados da bibliografia são para material seco, procedeu-se o cálculo dos valores termofísicos da laje, para 100% saturada em água. A condutividade térmica da laje foi obtida pelo Método da Renormalização, empregado por MENDES (1997). A densidade foi obtida mediante emprego da eq. (4.1), a seguir.

$$d_{\text{sat}} = d_{\text{seco}} / (1 - \eta) \quad (4.1)$$

onde

d_{sat} = densidade do material saturado;

d_{seco} = densidade do material seco (kg/m^3);

η = porosidade (%).

O cálculo da capacidade térmica adotou-se uma porosidade do concreto de 30%, baseado em comunicação interpessoal com os integrantes do Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas de Materiais, da UFSC, que foi aplicada sobre a seguinte equação abaixo:

$$C_{\text{sat}} = C_o + (\rho_{\text{H}_2\text{O}}/d) \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \eta \quad (4.2)$$

onde

C_o = capacidade térmica para o material seco ($\text{kJ}/\text{m}^3\text{K}$);

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ = densidade da água (kg/m^3);

d = densidade do material seco (kg/m^3);

$c_{\text{H}_2\text{O}}$ = calor específico da água ($\text{kJ}/\text{kg K}$);

η = porosidade (%).

Os valores de cada seção estão apresentados na TABELA 4-3, a seguir.

TABELA 4-3 - Características termofísicas das seções da laje saturada de água.

valores médios para cada seção	seção			
	1	2	3	4
espessura (m)	0,10	0,30	0,45	0,15
condutividade (W/mK)	2,23	0,904	2,23	0,60
densidade (kg/m ³)	3.286	2.056	3.286	1,60
calor específico (kJ/kg K)	1,55	0,667	1,55	0,04

Ao final dos cálculos, é possível estimar um aumento da transmitância térmica da laje de 1,38 W/m² K para 1,57 W/m² K, quando saturada em água.

POTÊNCIA DE EQUIPAMENTOS

O ASHRAE Handbook - 1993 Fundamentals, TABELA 9 da página 26.14, prescreve valores de geração de energia próximos da potência nominal do equipamento: 80% a 90% para microcomputadores, 73% para impressoras elétricas e 100% para equipamentos eletrônicos em geral. Considerando uma variação de 70% a 100% de dissipação de calor pelos equipamentos, obtém-se uma densidade de cargas entre 19 e 27 W/m².

INFILTRAÇÃO

Dados extraídos do ASHRAE FUNDAMENTALS (1985), referenciam infiltração máxima por unidade de área de parede externa de 300 cm³/(s.m²), à uma diferença de pressão de 75 Pa. O mesmo ASHRAE FUNDAMENTALS (1985) também cita medições tomadas por PERSILY e GROT (1986) em 8 edificações comerciais dos Estados Unidos, com valores entre 1.080 a 5.220 cm³/(s.m²), a 75 Pa. Finalmente, classifica três grupos de valores típicos de infiltração de ar por unidade de área de parede externa, a 75 Pa; são 500 cm³/(s.m²) para paredes pouco vazadas, 1.500 cm³/(s.m²) para paredes médias e 3.000 cm³/(s.m²) para paredes mais vazadas. Empregando essa última base de cálculo, a partir da área da edificação, adota-se os seguintes valores de infiltrações: 0,46 m³/h, 1,35 m³/h e 2,70 m³/h.

METABOLISMO DOS OCUPANTES

As taxas de calor e umidade emitidas pelos ocupantes são funções das suas atividades físicas, resistência térmica das suas roupas e condições ambientais. Estima-se

que a perda de calor sensível represente 70% das perdas totais, variando muito pouco deste valor (ASHRAE FUNDAMENTALS, 1985). A faixa de valores possíveis de metabolismo dos funcionários da Eletrosul corresponde às atividades desenvolvidas, que oscilam entre o trabalho leve de escritório à atividade leve em pé, 130 e 160 W respectivamente (valores extraídos da TABELA 18, página 26.21, do 1985 ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS).

ORIENTAÇÃO GEOGRÁFICA DA EDIFICAÇÃO

Ainda que sua influência não tenha sido determinada diretamente nos gráficos anteriores, a dúvida existente sobre seus efeitos justifica o levantamento de influência. Foi adotado o valor de incerteza de medição de $\pm 10^\circ$.

RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DE SENSIBILIDADE

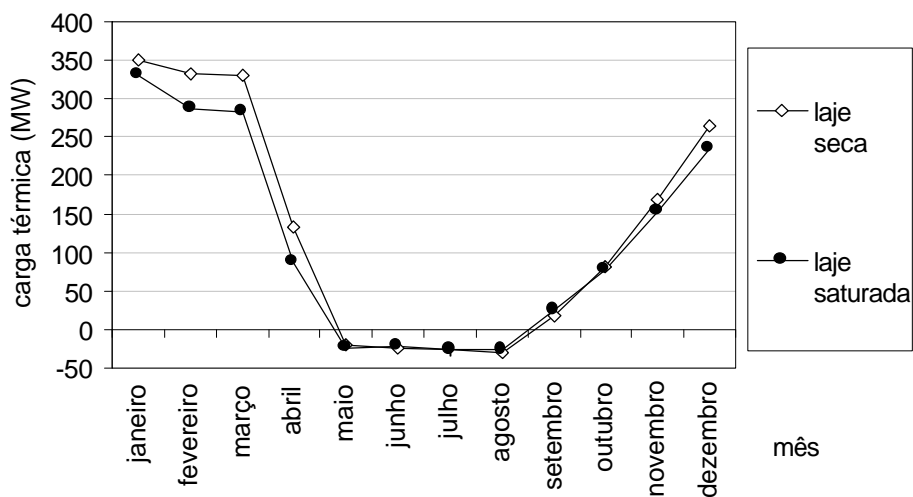
As simulações para cada limite inferior e superior das principais variáveis do modelo PLANILHA-LAJE demandaram 45 minutos de processamento de uma estação SUN. Devido à grande quantidade de informações geradas, fez-se avaliação da sensibilidade do modelo para com as variáveis mediante comparação do consumo de energia elétrica anual de cada simulação, com o consumo anual total do modelo PLANILHA-LAJE. As diferenças percentuais estão apresentados na TABELA 4-4.

As variações obtidas foram muito pequenas para todas as variáveis analisadas, indicando uma sensibilidade muito pequena do envoltório da edificação, das caracterizações da iluminação e dos equipamentos.

TABELA 4-4 - Variação do consumo de energia elétrica alterada.

variações	faixa de valores	diferença entre os resultados do modelo PLANILHA-GSLAJE
iluminação	25 a 28 W/m ²	-4,9 a 0,8 %
coef. de sombreamento	0,15 a 0,51	-4,4 a 4,0 %
laje	1,4 a 1,6 W/m ² K	-0,4%
equipamentos	19 a 27 W/m ²	-2,7 a 4,3
infiltração	0,46 a 2,7 m ³ /h m ² ¹⁰	-0,6 a 0,7%
metabolismo	130 a 160 W/pessoa	0,0 a 0,2
azimutes	108° a 128°	0,0%

A surpresa foi a redução do consumo de energia com a saturação da laje. Conforme a Figura 4.16, a laje seca conduz mais calor em praticamente todo o ano, principalmente nos períodos mais quentes. Este comportamento é explicado pelo aumento de 50% da sua densidade.

**Figura 4.16 - Cargas térmicas da laje para condição seca e saturada.**

4.1.8. Influência do Arquivo Climático na Simulação

¹⁰ O m² corresponde à área construída do edifício.

Para comparar a influência do arquivo climático sobre as simulações procedeu-se a criação de um arquivo climático para o ano de 1995, a partir dos dados que são coletados na Estação Solarimétrica, do Labsolar-UFSC.

Em virtude do grande número de dados ausentes, conforme índice de horas sem dados de cada mês apresentados na Figura 4.17 e da ausência de dados de velocidade e orientação do vento, fez-se algumas aproximações. Os dados ausentes de horas ou até mesmo dias, foram substituídos por valores iguais aos anteriores. Isto é, os dias totalmente comprometidos foram substituídos por dias iguais ao anterior. Para dados horários isolados, empregou-se dados iguais às horas do dia anterior. A alternativa encontrada para contornar a ausência dos dados de vento, foi a criação de dois arquivos climáticos, para analisar sua influência e decidir qual o procedimento mais adequado. Os arquivos climáticos são:

- FLOP95v0: dados reais de 1995, com dados de vento iguais à zero;
- FLOP95vTRY: dados reais de 1995, com dados de vento do arquivo TRY.

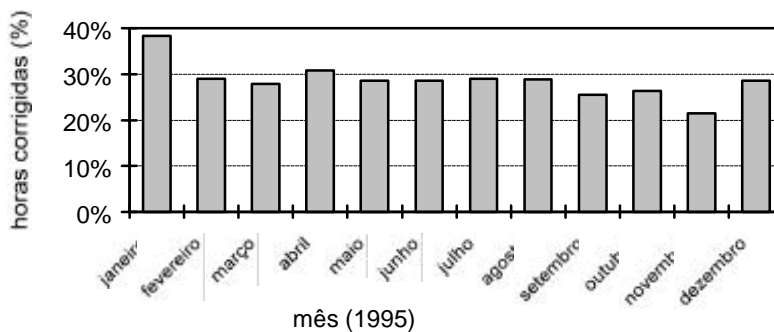


Figura 4.17 - Incidência de dados horários reais comprometidos.

A comparação das temperaturas de bulbo seco dos arquivos de 1995 e do TRY indica um comportamento semelhante, conforme Figura 4.18. O ano de 1995 registrou a temperatura média anual de 21,02 °C, mínima de 5,00 °C e máxima de 36,67°C. O arquivo TRY registrou a média de 20,67 °C, mínima de 2,22°C e máxima de 36,11°C. Os valores médios de temperatura de bulbo úmido também foram próximos: 18,26 °C para 1995 e 18,83 °C para o TRY.

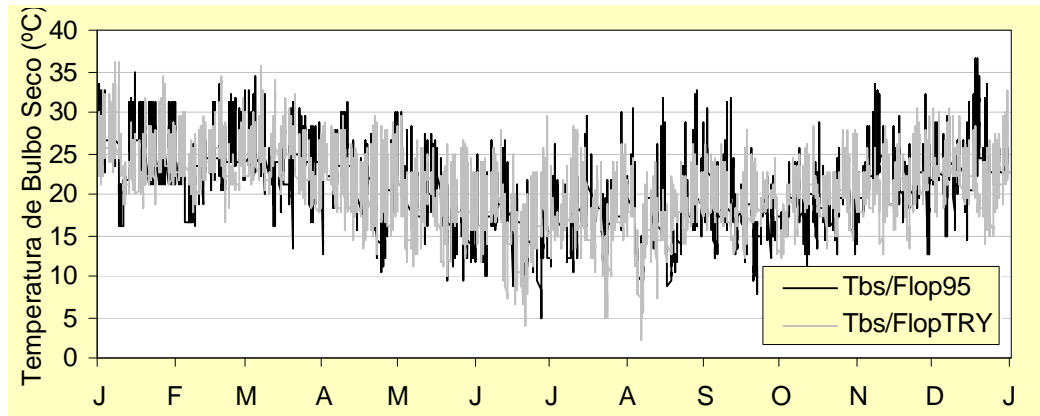


Figura 4.18 - Comparação de temperaturas de bulbo seco dos arquivos climáticos de 1995 e TRY¹¹.

As maiores diferenças foram de radiação solar. Enquanto o arquivo climático do tipo TRY empregou rotinas do DOE-2 para calcular os valores de radiação a partir de dados de nuvens, o arquivo Flop95 usou valores medidos. Ao final, o arquivo de 1995 registrou uma radiação total horizontal média anual de 171,0 W/m², com máxima de 1245,2 W/m². O arquivo TRY registrou a média de 162,6 W/m², com máxima de 1134,9 W/m². Ambas as curvas apresentaram comportamentos similares, segundo Figura 4.19.

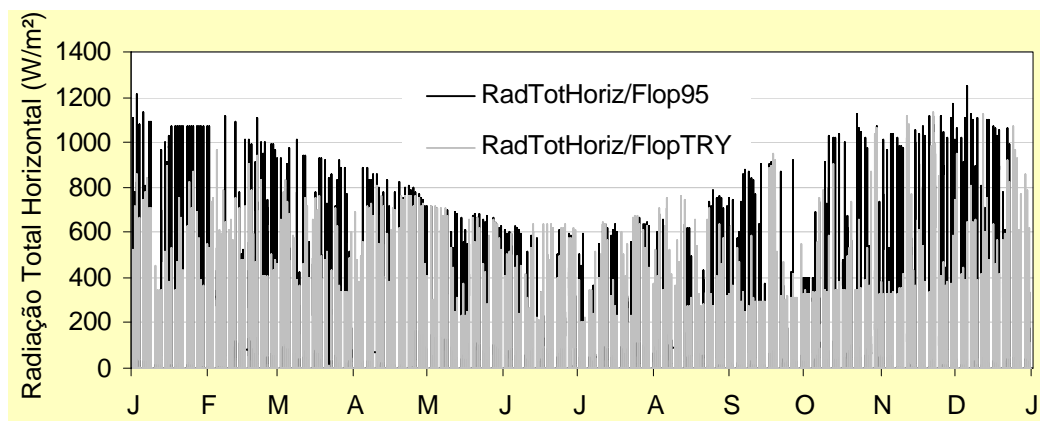


Figura 4.19 - Radiação total horizontal do ano de 1995 e do arquivo TRY.

¹¹ Esse gráfico assim como os dois a seguir não têm o objetivo de identificar valores (são 17.250 pontos) e sim informar qualitativamente através das tendências que as curvas têm em diferentes períodos do ano.

Entretanto, a maior discrepância está no comportamento da radiação direta no plano normal à incidência (radiação direta normal). O arquivo de 1995 registrou uma radiação direta normal média anual de 91,2 W/m², com máximas de 1.008,8 W/m². O arquivo TRY registrou a média de 144,3 W/m², com máxima de 1.043,5 W/m². Os comportamentos das curvas foram distintos, conforme Figura 4.20. Os dados gerados pelo DOE-2 não modelam adequadamente a redução da radiação solar direta à medida que se aproxima do solstício de inverno.

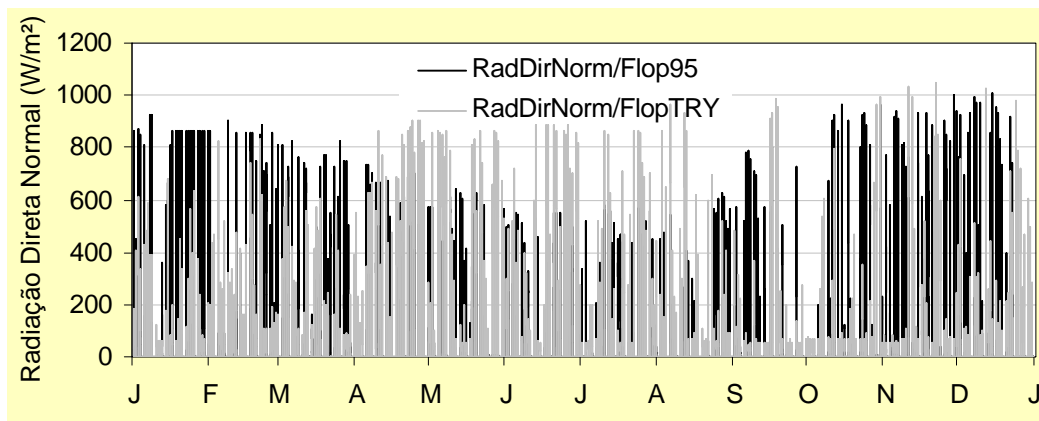


Figura 4.20 - Radiação direta normal dos arquivos climáticos de 1995 e TRY.

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ARQUIVO CLIMÁTICO

A análise das curvas de consumo de energia elétrica, apresentadas na Figura 4.21, indica que as curvas geradas pelos arquivos climáticos que apresentam dados de velocidade e orientação do ar são semelhantes e ambas são superiores à curva gerada pelo terceiro arquivo climático (sem dados de vento), principalmente nos períodos mais quentes.

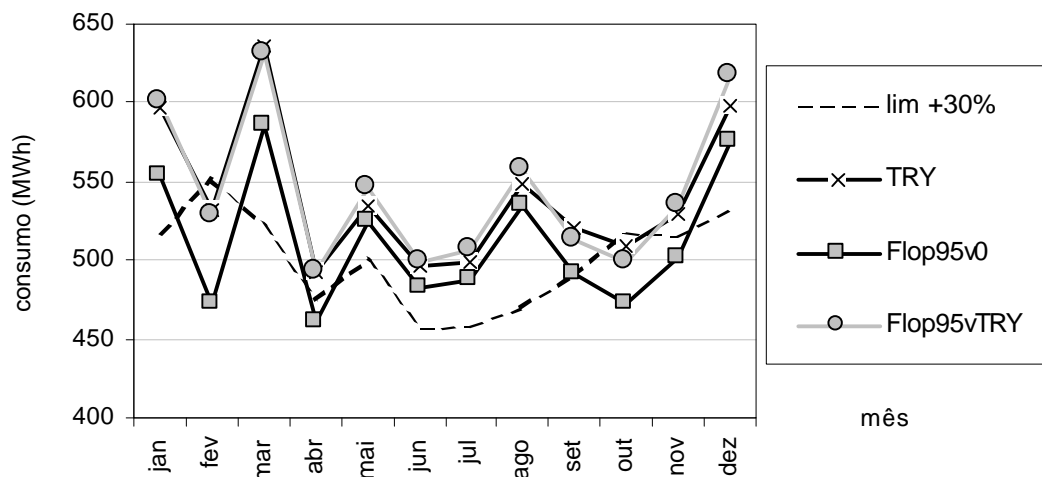


Figura 4.21 - Análise da influência do arquivo climático nos resultados de consumo de energia elétrica mensal do modelo PLANILHA-GSLAJE.

A influência dos dados de vento geram diferenças mensais de até 8% do consumo mensal (diferença registrada em janeiro), e diferença média mensal de 6%. Esta variação é creditada ao aumento da transmitância do envelope devido ao aumento do coeficiente de convecção da edificação nos períodos em que há maior diferença de temperatura do ar externo e da temperatura interna da edificação. Conforme pode ser verificado na Figura 4.22, as diferenças são inferiores a 3% (com exceção de dezembro) e não se justificando a compilação de um arquivo climático para esse nível de simulação.

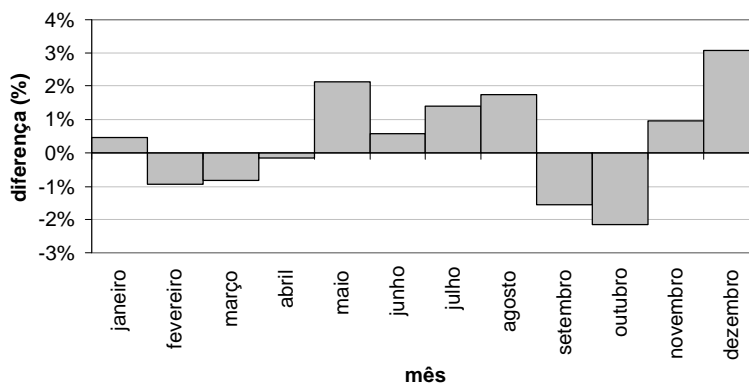


Figura 4.22 - Diferença de consumo mensal entre arquivos climáticos TRY e 1995.

4.1.9.Revisão do Modelo

Em virtude das diferenças significativas entre consumos mensais e simulados do melhor modelo desenvolvido até essa fase de abordagem, procedeu-se a uma revisão das fontes de dados. Optou-se pela revisão das formas dos espaços físicos e carga elétrica de equipamentos internos, a partir de consultas aos projeto arquitetônico (24 pranchas no total) ao invés de planilha de coleta de dados e relatórios complementares de equipamentos elétricos instalados na edificação. Através desta medida, fez-se as correções das áreas climatizadas, de 13.109,5 m² para 27.556,5 m²; e da potência nominal instalada, de 803,0 kW anteriores para 524,6 kW.

As diferenças são creditadas ao preenchimento da planilha e a um erro crasso da somatória dos equipamentos, identificado no próprio relatório de equipamentos existentes no prédio, emitido pela Eletrosul.

4.1.10.Modelos Baseados nos Projetos Arquitetônicos

A partir das correções, foram criados modelos com o prefixo PLANTA: menção aos modelos baseados nos projetos arquitetônicos. O primeiro modelo, designado de PLANTA, evoluiu significativamente: a maior diferença mensal registrada foi de 47,72 % em março e a média dos meses foi de 31,33 %, conforme Figura 4.23.

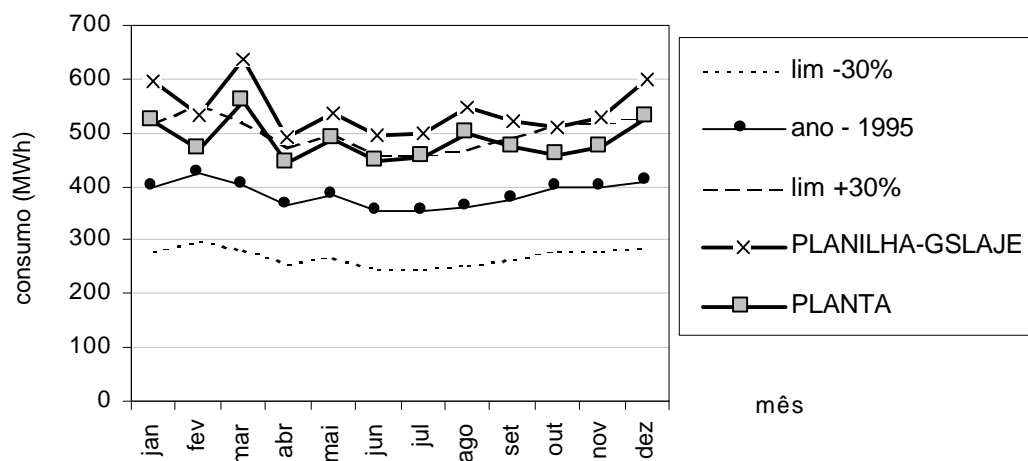


Figura 4.23 - Evolução do modelo PLANILHA-GSLAJE após correção mediante projeto arquitetônico.

Nova simulação foi realizada, mediante uma única correção: a potência dos equipamentos. Devido ao tipo de equipamentos, que provavelmente são ligados uma

pequena fração do tempo (por exemplo: cafeteiras, equipamentos de microfilmagem e auditório), foi atribuído um fator de correção para cada grupo de equipamentos. A potência de microcomputadores também foi corrigida, baseada em medições de potência de consumo realizadas pelo mestrando Enedir Ghisi, do laboratório no Núcleo de Pesquisa em Construção, do Departamento de Engenharia Civil da UFSC. Ao invés de 400 W atribuídos anteriormente aos microcomputadores com impressoras, atribuiu-se um valor médio de 130 W. O modelo retificado, designado de PLANTA-EQ, reduziu as médias de diferenças mensais de consumo de 25,9% para -2,4%, conforme Figura 4.24, que apresenta uma maior aproximação da curva de consumo do modelo em relação aos valores reais. O modelo PLANTA-EQ apresentou uma diferença de consumo de energia elétrica anual de -2,41% e a maior diferença, registrada em fevereiro foi de -12,5%. Em termos absolutos, é uma evolução surpreendente, considerando as poucas correções realizadas.

O último melhoramento que define o modelo definitivo dessa primeira abordagem é a declaração dos dias de leitura do consumo de energia elétrica, realizadas no ano de 1995. Esse novo modelo, denominado NIVEL1 se aproximou ainda mais dos valores reais de consumo mensal. A maior diferença verificada anteriormente correspondente ao mês de fevereiro caiu de -12,5 % para -7,0 %, sendo que a maior diferença corresponde à março que é igual a 10,7 %. A diferença mensal média se manteve praticamente constante. Conforme pode ser observado no gráfico da Figura 4.24, a curva gerada se aproximou ainda mais da curva real, tornando-se mais suave.

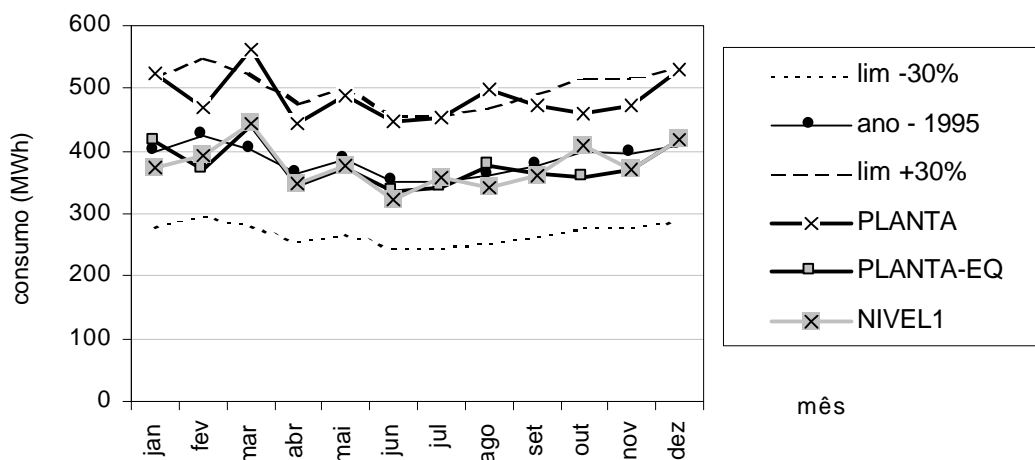


Figura 4.24 - Evoluções do modelo PLANTA para PLANTA-EQ e para NIVEL1.

Essa mesma sensibilidade pode ser estendida a datas especiais em que não houve expediente regular previsto, como paralisações ou qualquer outro tipo de atividade que não seja documentada.

4.1.11. Comparação dos Modelos

As diferenças entre os valores simulados e reais de consumo e demanda de energia elétrica dos sucessivos modelos desenvolvidos estão dispostas graficamente na Figura 4.25. Conforme pode ser avaliado, os modelos PLANTA, PLANTA-EQ e NIVEL1 são aprovados pelos critérios de aceitação (inferior a 30%). Observa-se que as maiores evoluções advêm de mudanças da caracterização da laje e da retificação da área e potência de energia elétrica instalada no prédio. As diferenças de demandas sempre foram superiores às de consumo, entretanto, diminuíram na mesma razão.

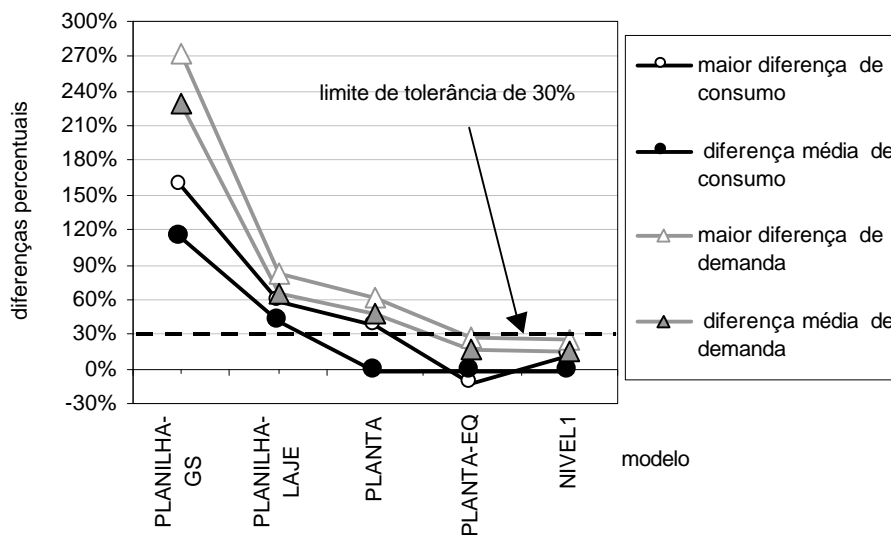


Figura 4.25 - Evolução das diferenças de consumo e demandas simuladas em relação aos dados reais.

O consumo de energia elétrica anual por área decresce do primeiro modelo até PLANTA-EQ, conforme Figura 4.26. As maiores diferenças entre os modelos foram produzidos por correção da cobertura (evolução do modelo PLANILHA-GS para PLANILHA-GSLAJE), por correções de áreas e potências instaladas (evolução do modelo PLANILHA-GSLAJE para PLANTA), e por correções de potências de uso de equipamentos (evolução do modelo PLANTA para PLANTA-EQ). Ao final da

abordagem, o modelo NIVEL1 apresenta somente 46% do consumo anual por área do primeiro modelo.

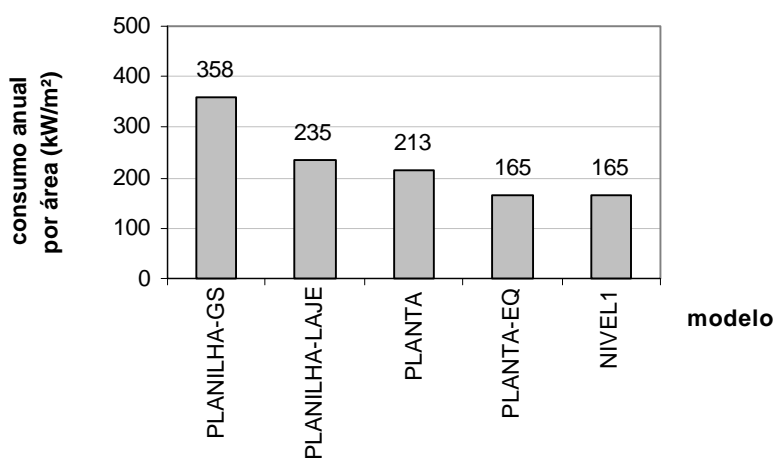


Figura 4.26 - Evolução do consumo anual de energia por área da edificação.

Entretanto, é o uso final de energia elétrica que mais varia no decorrer da modelagem. Conforme a Figura 4.27, apenas as cargas que não foram detalhadas, as pertinentes ao condicionador de ar, são mais uniformes. As cargas de iluminação e de equipamentos apresentaram uma variação muito grande devido às poucas informações disponíveis para a caracterização dos seus funcionamentos.

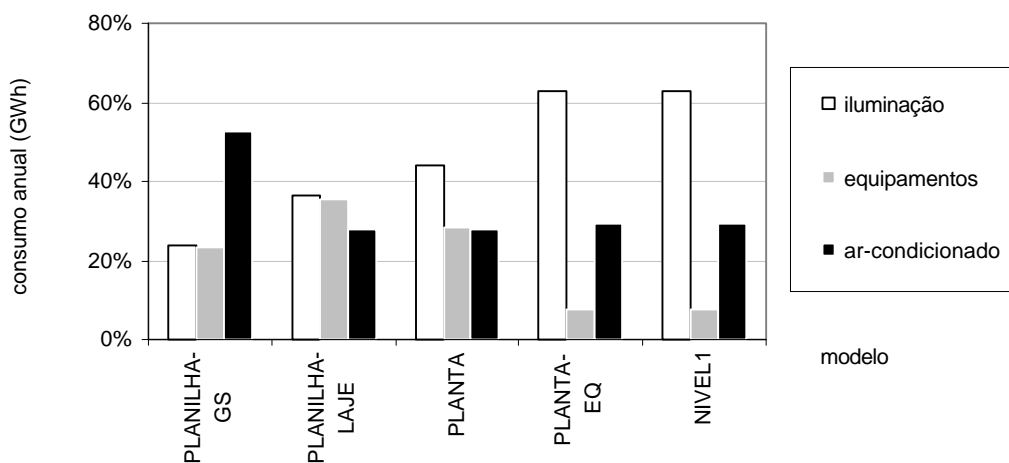


Figura 4.27 - Principais usos finais de energia de cada modelo.

4.1.12. Análise complementar do Grupo I

O último modelo dessa abordagem, o NIVEL1, foi submetido à simulação com arquivo climático TRY. Conforme pode ser observado na Figura 4.28, as diferenças são inferiores a 4% e a média das diferenças mensais é de 1,5%. A maioria dos resultados obtidos com arquivo TRY são superiores aos resultados obtidos com arquivo climático real.

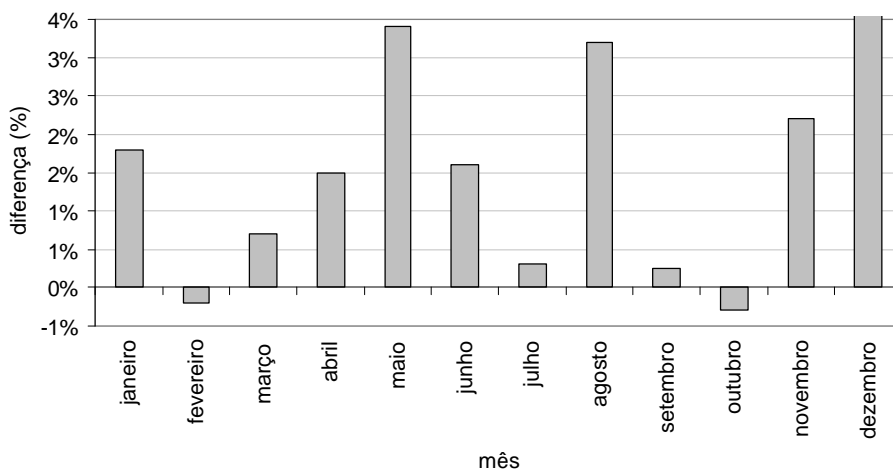


Figura 4.28 - Diferenças de consumo de energia mensal do modelo NIVEL1 simulado com arquivo climático TRY e real de 1995.

4.2. Grupo II - Auditoria e Memória de Massa

As abordagens do Grupo II apresentam maior interação do modelador com o edifício, que se inicia com as visitas à edificação e se estende ao monitoração das cargas. As variáveis de entrada são corrigidas com base em auditorias e em curvas horárias de consumo de energia elétrica. Os modelos são avaliados através da comparação dos consumos mensais simulados e reais para o ano de 1995. As abordagens que aqui se iniciam empregam arquivo climático real para 1995, devido à especialização das abordagens.

4.2.1. Uniformidade de Uso da Edificação

Como essa fase de calibração de modelos releva o emprego de dados horários de desempenho térmico e energético é necessário escolher um período representativo e preferencialmente recente, tal qual a escolha de um ano de referência. Baseado novamente na análise do histórico de consumo de energia dos últimos anos e na

disponibilidade das informações optou-se em trabalhar com os dados de memória de massa de março de 1996. A análise da Figura 4.29 indica que a maior diferença de consumo entre os mesmos meses, para anos diferentes, corresponde ao mês de novembro, que foi de 20,0%. O mês de março apresentou uma diferença de 0,5% e o mês de fevereiro uma diferença de 5,6%. A diferença de consumo de energia elétrica anual entre 1995 e 1996 é de 1,6%.

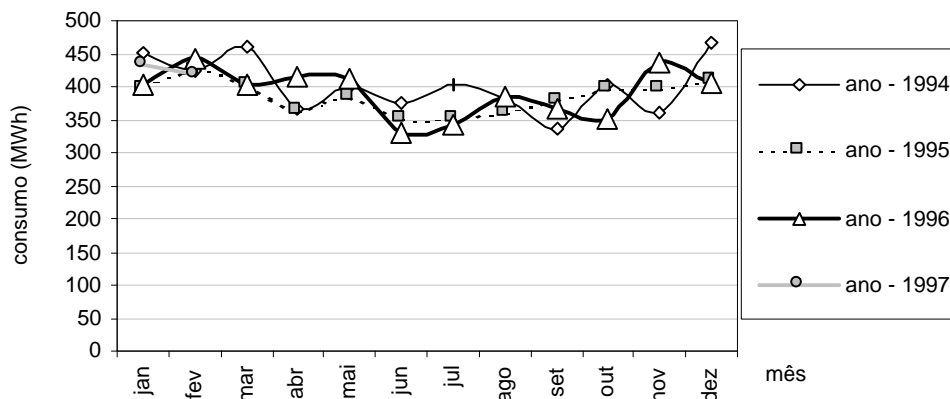


Figura 4.29 - Evolução do consumo de energia do edifício da Eletrosul de 1994 ao início de 1997.

4.2.2. Compilação do Arquivo Climático

O arquivo climático usado na correção das variáveis a partir de dados de memória de massa foi preparado para simulações restritas ao mês de março, portanto foram tratados apenas os últimos dez dias de fevereiro e o mês de março de 1996. Seu processamento foi similar ao do arquivo de 1995. Os únicos dados comprometidos do arquivo para março de 1996 são o dia 10, das 19:00 às 24:00 horas, o dia 11, das 15:00 às 24:00, e o dia 29, das 11:00 às 23:00 horas. O arquivo climático do ano de 1995 foi compilado na abordagem do Grupo I.

As simulações apresentaram um problema de calendário. Como o ano de 1996 é bissexto, é necessário retirar um dia do ano, para manter o tamanho do arquivo climático. Tomadas as instruções dos manuais do DOE-2.1E, os resultados ainda apresentaram 1 dia de defasagem no calendário semanal. O problema foi contornado mediante a adoção de outro ano do calendário do programa: 1997.

4.2.3. Auditoria: Visita à Edificação

A auditoria com visita à edificação permitiu a correção de variáveis e a declaração de novas informações, em substituição aos *defaults*. As principais evoluções sobre o modelo estão apresentadas a seguir e estão incorporadas no modelo auditoria.

CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS

A visita se mostrou imprescindível para a caracterização das áreas dos ambientes e dos seus entornos (isto é, paredes, pisos, tetos e aberturas), em especial os ambientes com pés-direito diferenciados, como mostra a Figura 4.30. Como os ambientes apresentam poucas divisórias, fez-se o agrupamento das áreas baseado na sua climatização. Ao final foram gerados dois tipos de ambientes por andar: áreas climatizadas, com 19.257 m²; e áreas não climatizadas, com 9.806m².



Figura 4.30 -Detalhe de área com pé-direito diferenciado.

MODELAGEM DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

A auditoria proporcionou melhoramentos sobre o sistema de refrigeração, como as correções das vazões de insuflamento de ar externo e dos climatizadores e a seqüência de acionamento dos resfriadores de líquido. As vazões foram obtidas dos catálogos dos ventiladores e dos climatizadores. Esses valores são passíveis de erros devido a alterações do tamanho das polias originais dos ventiladores dos climatizadores, enquanto os valores de infiltração variam segundo alterações de válvulas de vazão (*dumpers*) localizadas nas salas dos climatizadores.

A modelagem do acionamento dos resfriadores de líquidos exige uma aproximação ainda maior devido ao critério empregado pelos funcionários. Os

resfriadores de líquidos são ativados a partir da leitura do termômetro da água que segue para os climatizadores e na percepção do funcionário que os aciona. Se a carga é baixa, principalmente no inverno, apenas o resfriador alternativo é ligado. Em situações com cargas médias, liga-se uma centrífuga e o resfriador alternativo. E para situações com maior demanda, aciona-se as duas centrífugas e depois o resfriador alternativo. Esse procedimento é discutível à medida que envolve erros humanos. Declarações de alguns funcionários deixam patente que, às vezes, os resfriadores são acionados conforme queixas de aumento da temperatura interna das salas dos escritórios e CPD (centro de processamento de dados). A forma de modelagem consistiu em associar as seqüências com as faixas de demanda de refrigeração. Para demanda de refrigeração até 500 TR, aciona-se uma centrífuga e depois o resfriador alternativo, e para superiores à 500 TR, acionam-se as duas centrífugas e depois o resfriador alternativo.

MONITORAÇÃO DE TBS INTERNA

Foram monitorados diferentes ambientes da Eletrosul durante dias dos meses de setembro e outubro (aproximadamente uma semana cada ambiente). Em virtude da disponibilidade de apenas 5 sensores-armazenadores de dados, modelo JR, optou-se em monitorar as áreas estratégicas com maior influência sobre o modelo. Tal qual a metodologia sugere, o sensor de temperatura foi colocado em salas exclusivas dos climatizadores em pontos de ar de retorno das zonas, sem influência do ar de renovação (ar exterior).

O primeiro ambiente monitorado foi o CPD, que apresenta uso diferenciado dos demais. A princípio, o equipamento de climatização artificial deveria funcionar ininterruptamente para manter uma temperatura constante, abaixo dos 21 °C. Entretanto, observa-se na Figura 4.31, um comportamento comum durante os dias: as temperaturas são menores durante o período de ocupação do prédio, enquanto que após o encerramento das atividades usuais do edifício há variações. Como esse período coincide com o desligamento do resfriador de líquido do tipo centrífugo e acionamento do resfriador do tipo alternativo há aparentemente um funcionamento irregular deste último. A temperatura média encontrada foi de 21,8°C, com mínima de 20,9°C e máxima de 24,1°C.

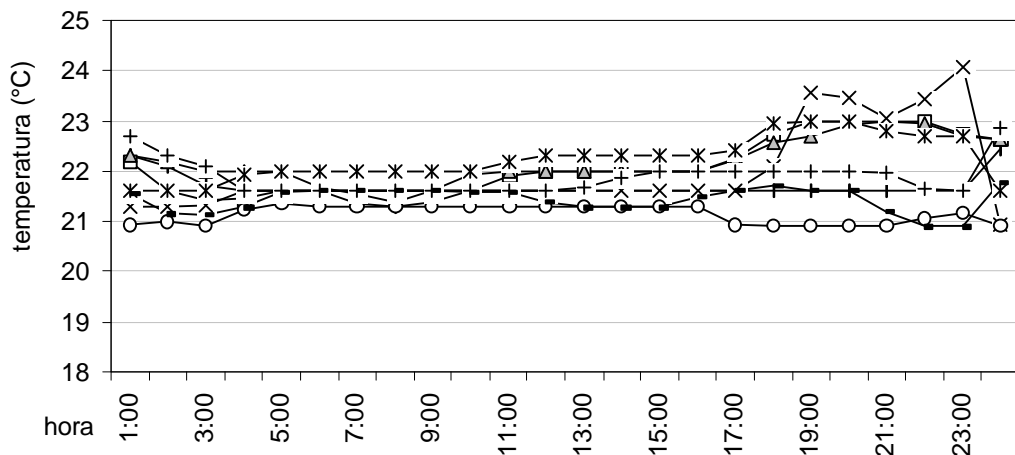


Figura 4.31 - Monitoração de TBS do CPD para diferentes dias de setembro de 1996.

Os demais ambientes climatizados apresentam a mesma condição de projeto de climatização interna. Dessa forma, a escolha dos ambientes monitorados durante duas semanas foi baseada em diversos critérios:

- ambientes voltados para o norte justificado por falta de atendimento da carga térmica, segundo reclamações de seus usuários;
- ambientes voltados para o norte, no andar térreo da edificação, para efeito de comparação com o ambiente do piso superior e para evidenciar influência da laje sobre a temperatura interna.
- ambientes voltados para o sul, no segundo piso da edificação, para evidenciar contrastes em relação às zonas anteriores;
- átrio central no piso térreo (a dois metros de altura), porque não é climatizada diretamente (não há insuflamento, apenas retorno de ar climatizado);

As curvas apresentadas na Figura 4.32 correspondem à evolução de temperaturas para diferentes dias, de ambientes voltados para a face norte, no segundo piso (imediatamente sob a laje de cobertura), e de uso da diretoria. Conforme pode ser observado, as temperaturas variam entre 22,4°C e 24,4°C, e a média é de 23,8°C no período de funcionamento.

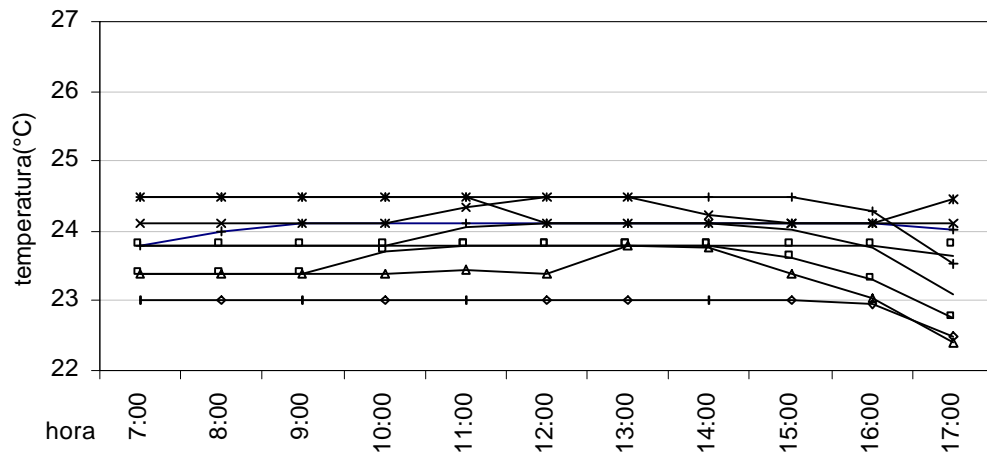


Figura 4.32 - Monitoração de TBS da face norte, piso superior, para diferentes dias de setembro de 1996.

A temperatura média dos ambientes voltados para o norte, no piso térreo, foi de 24,0°C, variando entre 23,4°C e 24,5°C. As evoluções das temperaturas apresentadas na Figura 4.33 evidenciam um comportamento mais estável nos ambientes do piso superior. Como seus perfis de temperatura são coerentes com temperaturas de projeto de condicionamento de ar e oscilam abaixo de 24,5 °C, não se pode afirmar que a temperatura é a causa do desconforto de seus usuários.

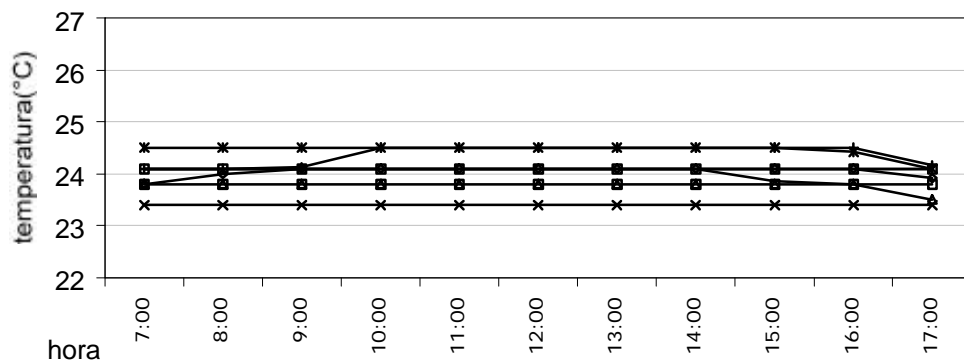


Figura 4.33 - Monitoração de TBS da face norte, piso térreo, para diferentes dias de setembro de 1996.

Os ambientes voltados para o sul apresentaram uma temperatura média superior aos demais: 24,3°C, e variações entre 23,4°C e 26,2°C. As evoluções de temperatura

4.2.4.Resultado da Auditoria: Modelo **AUDITORIA**

A auditoria implicou na correção do modelo anterior, o NIVEL1, gerando o modelo AUDITORIA. A avaliação dos seus resultados, simulado com o arquivo climático para o ano de 1995, apresentou consumo mensal inferior ao real principalmente nos períodos mais quentes, conforme gráfico da Figura 4.36, com diferença média anual de -14,71%, oscilando entre -24,79% em janeiro e -3,63% em julho. A diferença advém da declaração da capacidade de refrigeração do sistema, enquanto os modelos anteriores foram dimensionados automaticamente pelo programa. Neste caso, o sistema de refrigeração deixou de atender plenamente à demanda de carga térmica em aproximadamente 50% das horas de funcionamento.

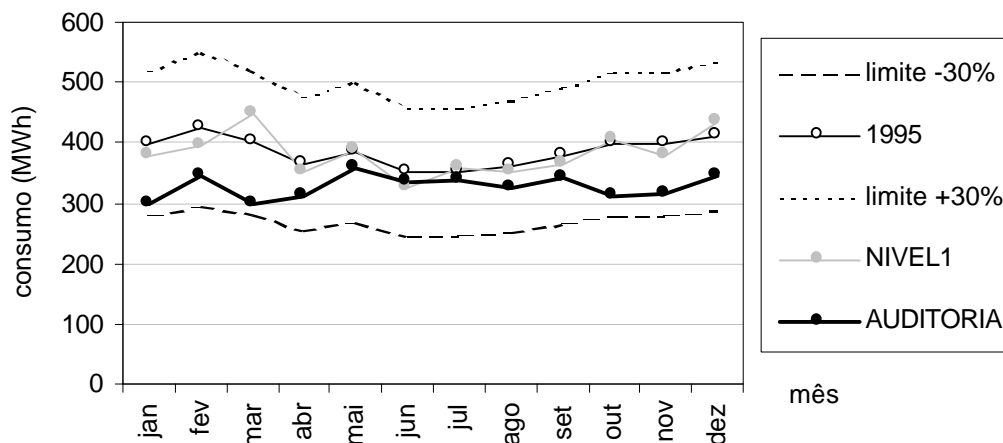


Figura 4.36 - Consumo mensal para o modelo AUDITORIA.

4.2.5.Comparação com de Dados Horários de Consumo

As cargas de consumo de energia elétrica obtidas por simulação do modelo AUDITORIA são confrontadas com os dados reais de consumo horário de um único mês. Esses dados são conhecidos por memória de massa, e sua disponibilidade varia segundo disponibilidade de espaço nos computadores da concessionária. Porém, o último mês cobrado é facilmente obtido. Excepcionalmente para a Eletrosul, houve disponibilidade do primeiro semestre de 1996. A escolha do mês para a abordagem do método foi baseado na integridade dos dados climáticos, condições climáticas para o acionamento do condicionado de ar e repetição do consumo de energia em relação ao ano anterior (como indicativo de uso regular da edificação). O mês escolhido foi março.

Os dados reais empregados na comparação correspondem a valores horários do dia útil médio e do feriado médio (médio em relação ao mês de março). Como o DOE-2 somente gera valores horários para dias do calendário, e não valores médios para a semana, ou mês, identificou-se o dia do mês de março que mais se aproxima do dia útil médio: o dia 3 de março, com 0,06% de diferença total diária. O mesmo procedimento identificou como feriado o dia 30 março, com a diferença de 1,79% em relação ao consumo total diário do feriado médio.

Ainda que haja referência para tolerâncias entre consumo real e simulado diários (KAPLAN et al., 1990), de até 35%, tolerâncias entre dados horários reais e simulados não foram identificadas em bibliografia. Dessa forma, o objetivo principal foi a exploração das potencialidades do método.

A confrontação do modelo AUDITORIA com os valores reais dos dias médios, conforme Figura 4.37, demonstra que os padrões de uso modelados não correspondem à realidade. As maiores diferenças ocorrem nos períodos sem atividade e no início e término do turno diário.

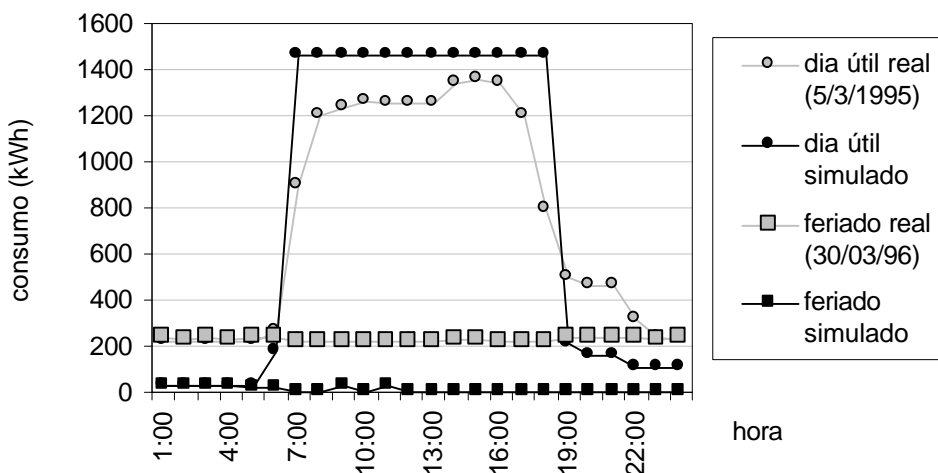


Figura 4.37 - Desempenho do modelo AUDITORIA.

Vale ressaltar que a correção dos padrões de temperatura foi muito pequena, de 24,0°C para 24,1°C, entretanto sua influência isolada foi estimada em 0,10%, a partir da comparação dos consumos mensais dos modelos NIVEL1 e AUDITORIA.

4.3. Calibração com Dados de Memória de Massa

A princípio, os dados de memória de massa permitem avaliar a curva de consumo de energia horário durante o dia e a sua consistência, isto é, se as curvas se repetem diariamente. A análise dos dados de março (744 pontos correspondentes às horas do mês) permite identificar duas formas distintas de ocupação: de dias úteis e de feriados, apresentadas na Figura 4.38. Os valores reais estão representados por pontos e as duas curvas geradas pelos valores médios estão representadas por linhas contínuas. A maior diferença entre um ponto e a média foi encontrada para dias úteis foi de 22,2%, e a maior diferença de consumo diário foi de 19,0%.

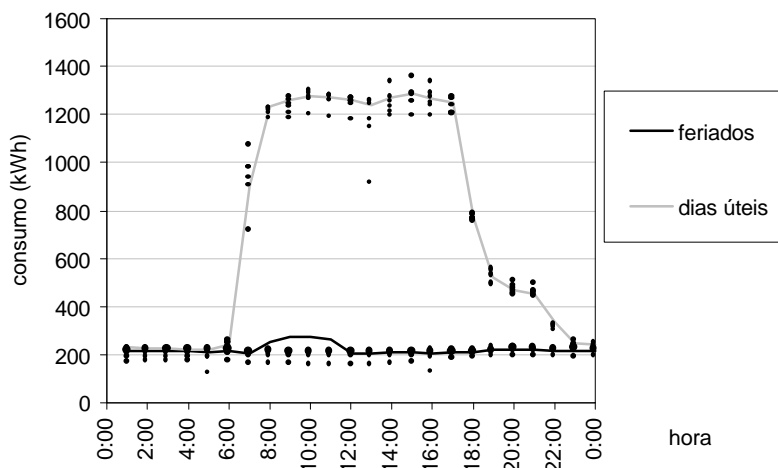


Figura 4.38 - Perfil médio de cargas de consumo de dias úteis.

A análise da curva de dias úteis identifica um consumo de energia elétrica nos períodos sem ocupação superior aos da curva de feriados. Esta diferença pode ser creditada ao emprego de iluminação para auxiliar serviços de limpeza e ocupação extra de funcionários. Portanto, os períodos sem ocupação com mesma intensidade de funcionamento podem ser compreendidos entre 23:00 e 6:00 horas. A partir das 6:00, há um aumento gradativo da intensidade de funcionamento, combinado com o funcionamento do condicionador ar. Somente a partir das 8:00 horas há uma razoável estabilidade das cargas, que diminui em torno das 13:00 horas, devido à redução das cargas térmicas creditadas aos metabolismo dos ocupantes. Dessa forma, o período compreendido entre 9:00 e 17:00 pode ser considerado com mesma intensidade de utilização de equipamentos e iluminação. A partir das 18:00 há um decréscimo do consumo até as 23:00 horas.

A análise dos dados permitiu identificar dois dias considerados como feriados e fins de semana com comportamento atípico. Foram geradas duas curvas médias: uma com esses dados e outra sem, desprezando-os, conforme Figura 4.39. As diferenças geradas apresentaram dois dias que destoaram dos demais, com valores entre 800 kWh e 150 kWh, associados à ocupação atípica. Para a modelagem dos padrões de uso, optou-se pela curva típica. Conforme apreciação da curva de feriados, não há aumento significativo nos períodos noturnos em virtude do acionamento de luminárias, ou seja, acredita-se que existem poucas luminárias funcionando ininterruptamente. Logo, as cargas de consumo são creditadas aos equipamentos e resfriador alternativo do CPD.

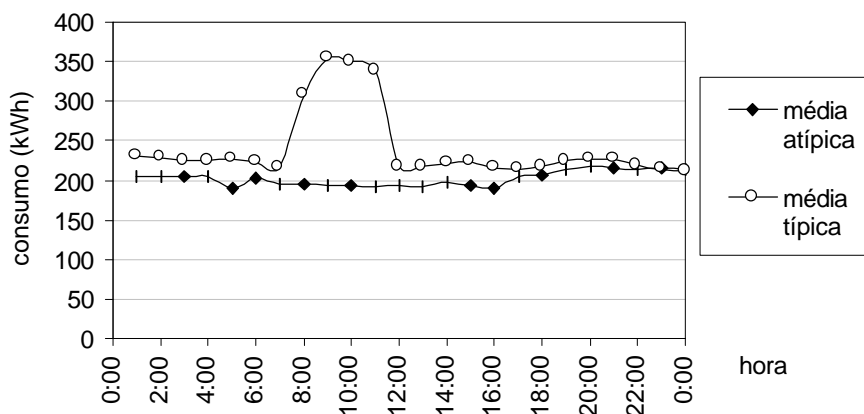


Figura 4.39 - Perfil médio de cargas de consumo de feriados.

Fez-se a incorporação dessas correções ao modelo AUDITORIA através de sucessivas correções dos padrões de uso, gerando o modelo MEMMASSA.

4.3.1. Resultados do Modelo *MEMMASSA*

As principais variáveis associadas às evoluções da curva de consumo são os padrões de uso declaradas para equipamentos e iluminação. Essa constatação advém da sensibilidade adquirida no decorrer das simulações. Para atingir o perfil apresentado na Figura 4.40 foram necessárias somente três simulações precedidas por intervenções do modelo e sem qualquer necessidade de emprego de cálculos auxiliares. As diferenças horárias para dias úteis variaram entre -37,1% e 11,6%, e a média foi -0,09%. As diferenças horárias para feriados variaram entre -11,1% e 10,1 %, e média foi -0,01%.

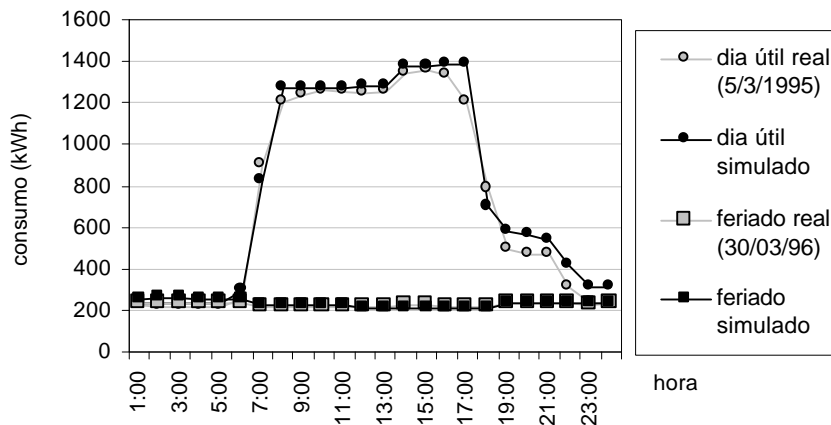


Figura 4.40 - Consumo horário do modelo MEMMASSA.

A simulação do modelo MEMMASSA para o ano de 1995 resultou em diferenças menores entre o real e o modelo do que a do modelo anterior. Seu melhoramento é creditado à correção de cargas de consumo dos períodos sem ocupação, que gerou um aumento médio de 15% da carga de consumo mensal em relação ao modelo AUDITORIA. A carga de consumo de refrigeração continuou aproximadamente igual e a demanda de resfriamento não foi atendida em 53% do período de horas de funcionamento. A diferença média anual entre os valores de consumo simulados e reais para o modelo MEMMASSA foi de 0,20%, enquanto que as diferenças mensais variaram entre -13,07% para fevereiro e 10,87% para julho (Figura 4.41).

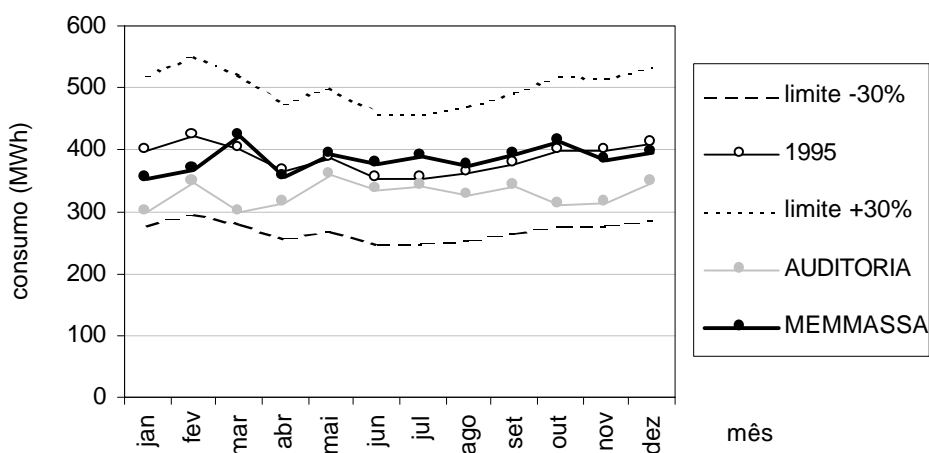


Figura 4.41 - Consumo mensal do modelo MEMMASSA.

4.4. Grupo III - Monitoração de Energia por Uso Final

Este grupo de abordagens se detém na caracterização do uso final de energia elétrica da edificação. Busca a modelagem dos padrões de uso pertinentes ao consumo de energia elétrica de equipamentos e iluminação, assim como o dimensionamento de equipamentos do sistema de climatização artificial. O critério de medição foi abordado na metodologia e as medições foram realizadas por profissionais do departamento de manutenção da Eletrosul.

Conforme foi mencionado no item 3.3.2 e reproduzido novamente na Figura 4.42, o sistema apresenta três transformadores após a subestação de entrada identificados por Trafo1, Trafo2 e Trafo3. Os dois primeiros atendem cargas de iluminação e equipamentos (separados entre si), e atendem também a um terceiro grupo (ora Trafo1, ora Trafo2), formando pelas cargas essenciais, que sempre devem estar energizados (é assistido por um gerador de emergência). A separação das cargas de iluminação e de equipamentos ocorre somente nos quadros de distribuição: são oito por andar. Em síntese, é possível caracterizar os seguintes grupos segundo o uso final:

- Trafo 1 e Trafo 2: equipamentos e iluminação do prédio em geral;
- Trafo 3: 2 resfriadores de líquido de 400 TR (cada), bombas de água, fotocopiadoras e climatizadores;
- cargas essenciais: equipamentos e iluminação do CPD e algumas áreas do térreo e subsolo, bombas de recalque da caixa de água e reservatório para combate a incêndios, serviço auxiliar do gerador, carregamento de baterias, resfriador de líquido alternativo de 100 TR e bombas de água, serviço de comunicação e iluminação do auditório.

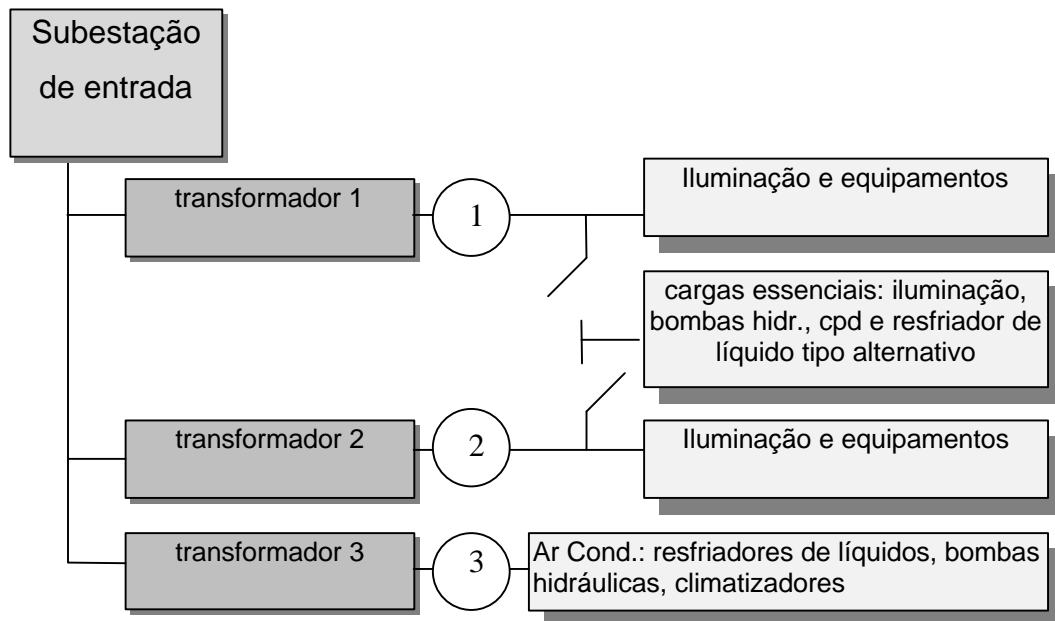


Figura 4.42 - Diagrama unifilar.

O primeiro transformador abordado é o Trafo 2, devido ao maior período que foi submetido a monitoração: quatro dias úteis e dois feriados. Em seguida aborda-se o Trafo 1. Devido à presença de transformadores identificados como “essenciais” que combinam consumo de iluminação, equipamentos de escritório e de condicionador de ar, assim como há o Trafo 3 que combina os consumos dos resfriadores de líquido com bombas hidráulicas e climatizadores, foi necessário proceder a identificação destas últimas cargas para separá-las das demais. Dessa forma, optou-se por abordá-las junto com as cargas essenciais. O Trafo 3 é o último transformador abordado e também se beneficia da identificação das cargas de consumo de seus equipamentos. Ao final também são apresentadas medições de outros equipamentos como elevadores.

4.4.1. Trafo 2 (transformador 2 da subestação)

A análise das curvas obtidas da monitoração do Trafo 2 é passível de uma série de interpretações, conforme o gráfico apresentado na Figura 4.43. A partir da zero hora, observa-se que as cargas de consumo variam durante a primeira hora, com redução gradativa até às 2:00 horas. Aparentemente, essas cargas devem ser creditadas aos equipamentos de funcionamento irregular (como bombas de recalque) porque apenas a iluminação de segurança é ativada. A partir da segunda hora, as cargas tornam-se constantes até o acionamento da iluminação, que se inicia às 6:00 horas e se estende até

às 7:00 horas. Considera-se que este caráter uniforme é creditado somente as cargas de equipamentos que operam 24 horas por dia. Nos momentos que antecedem a chegada dos funcionários (o expediente regular da empresa se inicia às 7:30 horas), há nova estabilização das cargas por 20 minutos. Este breve período constante é equivalente às cargas de iluminação (descontado as cargas de equipamentos ligados 24 horas). Posteriormente, com a chegada dos funcionários, são acionados os equipamentos individuais como microcomputadores, máquinas elétricas e copiadoras.

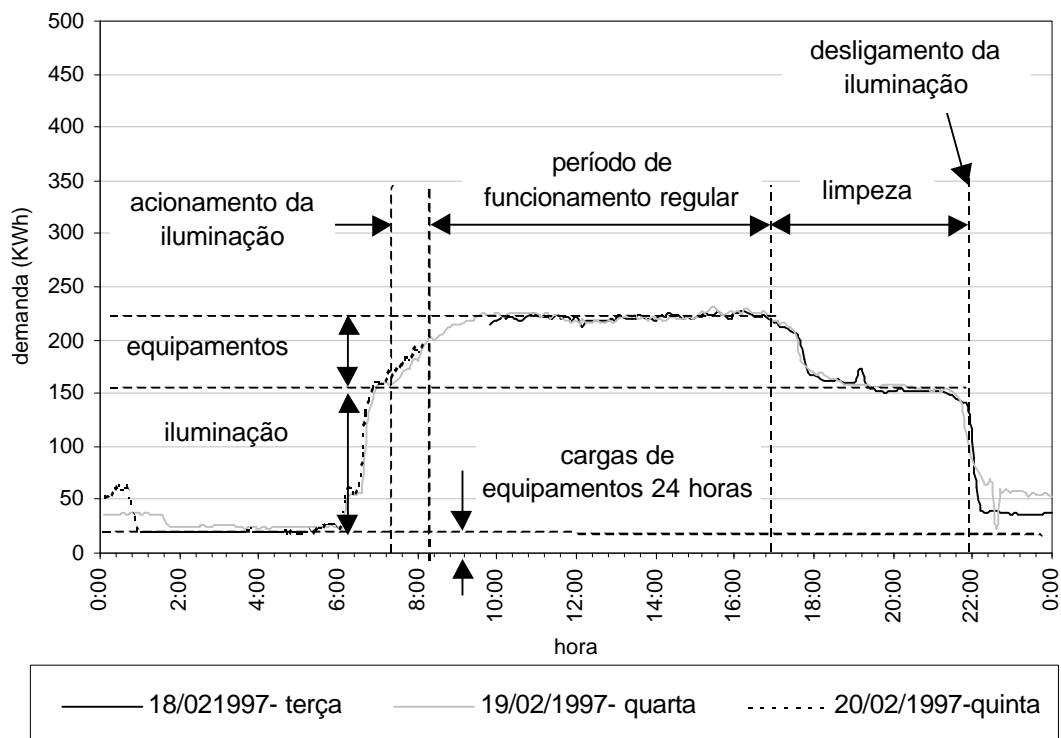


Figura 4.43 - Reprodução dos perfis de carga de demanda do Trafo 2, para dias úteis.

A principal hipótese assumida quanto às cargas de equipamentos é confirmada com o término da jornada diária. Com a saída dos funcionários (a partir das 17:30 horas), os equipamentos são gradativamente desligados, trazendo as cargas de consumo para o patamar das cargas de iluminação (até às 18:30 horas), coincidindo com os valores atribuídos à iluminação e cargas de equipamentos 24:00 horas encontrados antes da chegada dos funcionários. A partir deste horário, as luzes são apagadas segundo o critério dos profissionais encarregados da limpeza, ocorrendo ativamente da iluminação de outros ambientes (observa-se um estímulo da curva na Figura 4.43, entre 19:00 e

20:00 horas). Este período se estende até as 22:00 horas e finalmente a maior parte das luzes são apagadas e o consumo se reduz às cargas noturnas de equipamentos e algumas poucas luminárias até as primeiras horas da manhã. Dessa forma, as cargas de iluminação e equipamentos são separadas a partir de valores médios das três curvas, gerando valores médios de demanda (a cada cinco minutos), apresentados na Figura 4.44.

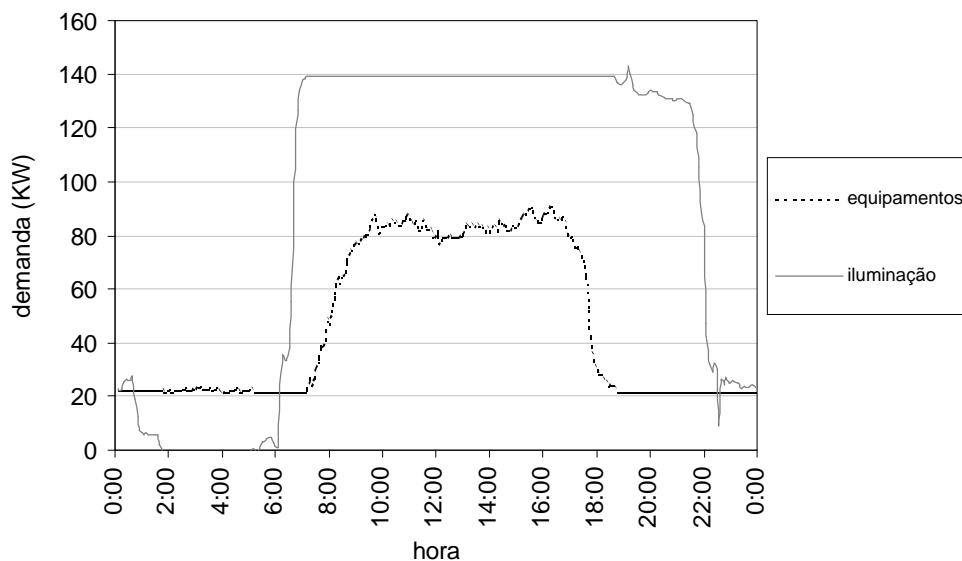


Figura 4.44 - Caracterização do uso final do Trafo 2.

O tratamento dos dados anteriores são combinados com dados equivalentes do Trafo 1 para a geração de padrões de consumos horários de equipamentos e iluminação, apresentados nos próximos itens.

4.4.2. Trafo 1

Aplicando a mesma rotina anterior de separação de cargas do Trafo 2, porém com dados obtidos de monitoração de somente 24 horas, foi possível obter a curva de carga apresentada na Figura 4.45. Conforme podem observado, as rotinas de funcionamento são ainda mais evidentes, a exemplo do acionamento e desligamento das luminárias, que são indicados pelos platôs da curva. As cargas ligadas no período que o prédio está desocupado são baixas e uniformes, facilitando a modelagem. A variação ocorrida próxima das 11:00 horas corresponde às cargas essenciais que foram trocadas do Trafo 2 para o Trafo 1 durante as medições. Obviamente, esse acréscimo foi descontado do período.

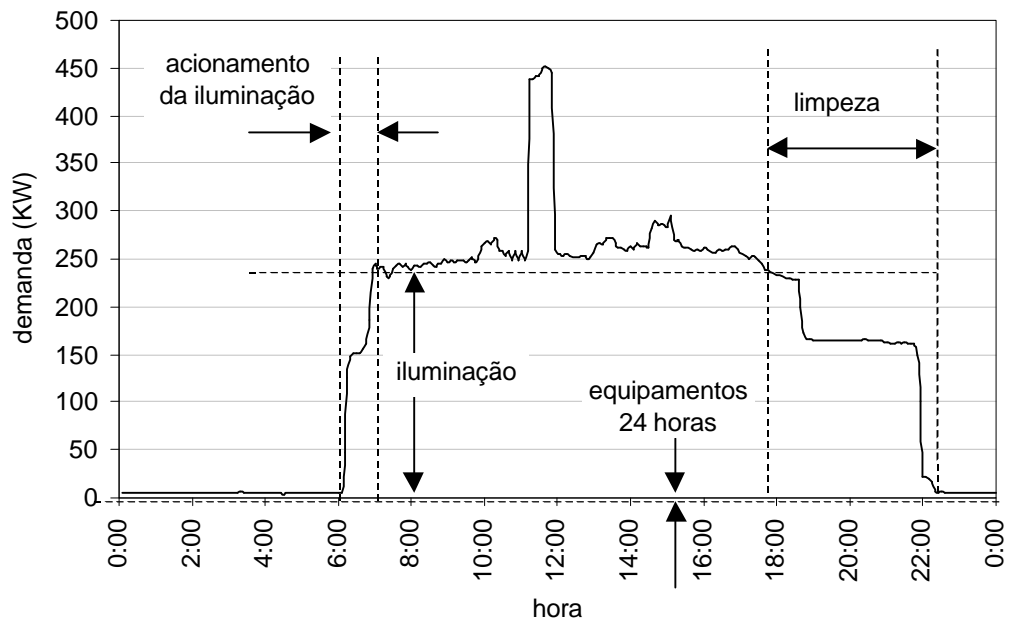


Figura 4.45 - Perfil de demanda do Trafo 1.

A caracterização das cargas de consumo de equipamentos e de luminárias são separadas empregando a mesma interpretação das cargas do Trafo 2, conforme Figura 4.46.

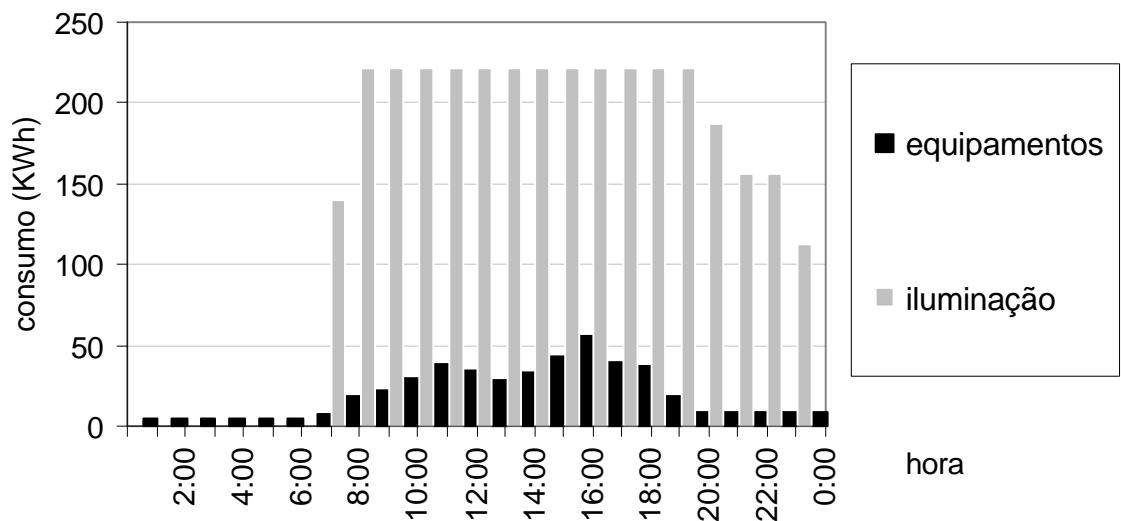


Figura 4.46 - Cargas de consumo de equipamentos e iluminação do Trafo 1.

4.4.3.Cargas Essenciais

Como as cargas essenciais não podem ser medidas separadamente, sua monitoração foi em conjunto com o Trafo 2 e separada posteriormente através da subtração das cargas do Trafo 2 das cargas totais. A Figura 4.47 apresenta a curva média monitorada do Trafo 2 e as cargas essenciais separadas.

As cargas essenciais apresentam cargas de consumo dependentes do clima como resfriadores de líquido, não-dependentes do clima como ventiladores e cargas mistas que estão associadas a um padrão de uso e ao funcionamento do resfriador de líquido como suas bombas hidráulicas. A separação das cargas carece de informações adicionais que permitam interpretar a curva gerada das cargas essenciais, como dados de consumo dos equipamentos dos SYSTEMS e do PLANT.

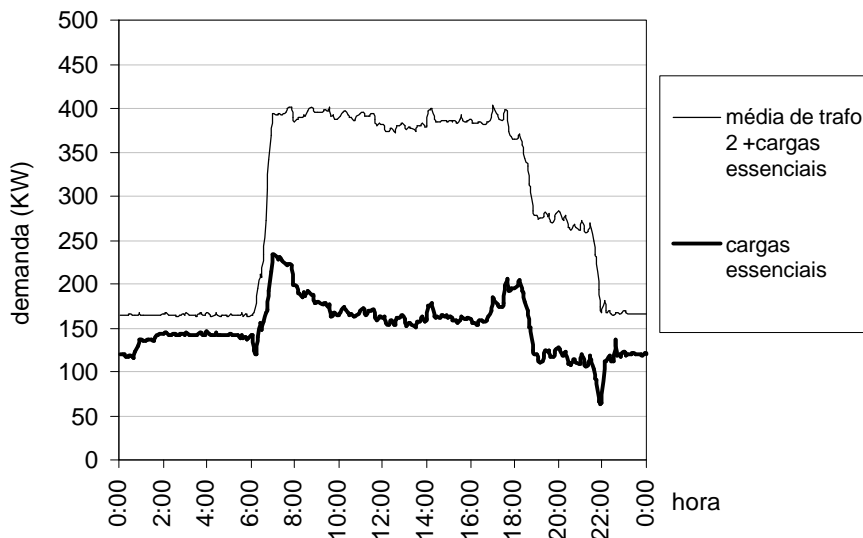


Figura 4.47 - Perfis de cargas de demanda do Trafo 2 e cargas essenciais.

USOS FINAIS DE EQUIPAMENTOS DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

Quando as cargas de equipamentos do SYSTEMS e do PLANT aparecem combinadas com outras cargas de consumo nos dados monitorados, como as “cargas essenciais” e o Trafo 3, é necessário extraí-las para se determinar os padrões de consumo horários. Como a determinação do consumo de cada equipamento envolve muito tempo, procurou-se otimizá-la selecionando os equipamentos com maior influência sobre o consumo, como os climatizadores e bombas hidráulicas.

Para separar a carga de consumo destes equipamentos, identificou-se os horários de acionamentos, as cargas de consumo representativas para cada unidade e a

quantidade de equipamentos. Considerando-se que são cargas praticamente constantes, o consumo de cada equipamento foi obtido indiretamente pela medição da corrente aparente das três fases de cada equipamento. Calculou-se a potência ativa adotando o fator de potência médio resultante da monitoração realizada pelo RE 1000.

O conjunto de bombeamento de água serve dois ramais em períodos distintos: um ramal exclusivo para o CPD durante os períodos sem ocupação e outro para todo o prédio (inclusive CPD) em ocupação normal. As bombas de água de condensação do resfriador alternativo, mostradas na Figura 4.48, apresentaram um consumo médio de 6,5 kWh e as bombas de água das centrífugas (as três bombas ao fundo da Figura 4.48), apresentaram um consumo de 43,6 a 47,1 kWh. Essa diferença é creditada ao funcionamento irregular de um dos motores elétricos. As bombas de água geladas do resfriador alternativo, mostradas na Figura 4.49, consomem 5,1 kWh e as bombas das centrífugas (mostradas na mesma figura) consomem 49,0 kWh.



Figura 4.48 - Bombas de água de condensação.

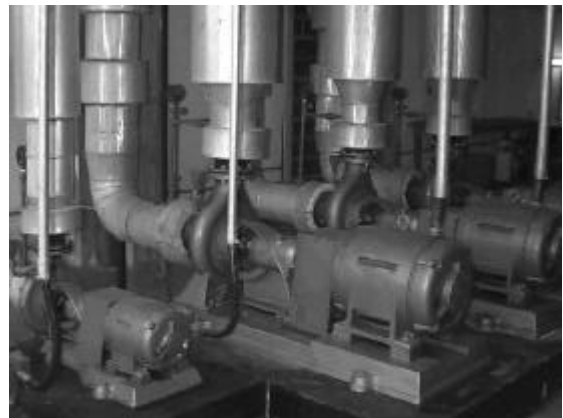


Figura 4.49 - Bombas de água gelada.

Como há 60 climatizadores com diferentes cargas de consumo alterados em relação ao projeto original, fez-se o levantamento do consumo de energia elétrica de cada um deles, através da medição da corrente aparente de cada modelo. Os climatizadores menores consomem 3,7 kWh, enquanto os maiores consomem 5,8 kWh. Considerando que as rotinas de acionamento dos climatizadores são regulares e que apresentam consumo constante durante seu funcionamento, fez-se a projeção do consumo horário. Foram divididos em dois grupos: climatizadores de funcionamento regular e de funcionamento 24 horas, apresentados na Figura 4.50. O mesmo

procedimento foi adotado para as bombas hidráulicas do resfriador alternativo e das centrífugas e resultou nas curvas da Figura 4.51.

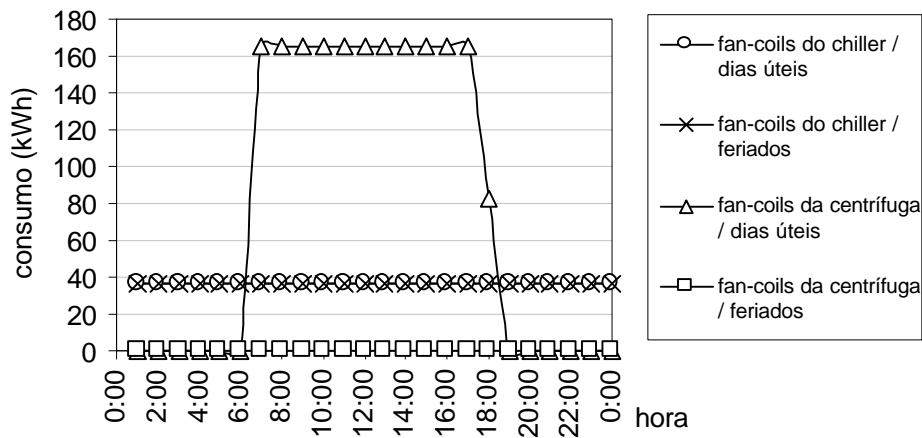


Figura 4.50 - Projeção do consumo horários dos climatizadores.

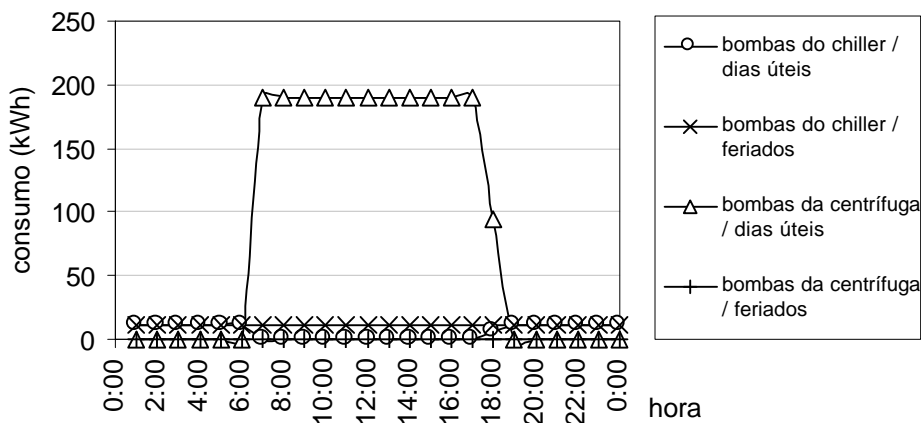


Figura 4.51 - Projeção do consumo horários das bombas hidráulicas.

E finalmente, o último equipamento monitorado foi o conjunto de ventiladores da torre de arrefecimento, que apresentou um consumo médio de 4,3 kWh.

4.4.4. Separação das “Cargas Essenciais”

O monitoração do consumo dos compressores evidencia seu consumo típico apresentado na Figura 4.52, onde Pat corresponde à potência ativa. Como o funcionamento do resfriador alternativo está associado sobretudo às cargas térmicas internas, seu funcionamento apresenta maior regularidade de uso, tal que a confrontação de dados provenientes de dias distintos é aceitável. Neste mesmo gráfico, observa-se que apenas três dos quatro compressores são usados, e entram na seguinte seqüência:

compressor 1 (30 kW de potência), compressor 2 (19 kW) e compressor 3 (19 kW). Os três são solicitados somente no período inicial de ocupação da sala do CPD, no expediente matutino. Na maior parte do tempo, o compressor 1 fica ligado continuamente, enquanto o compressor 2 apresenta funcionamento oscilante (duas ligações por hora).

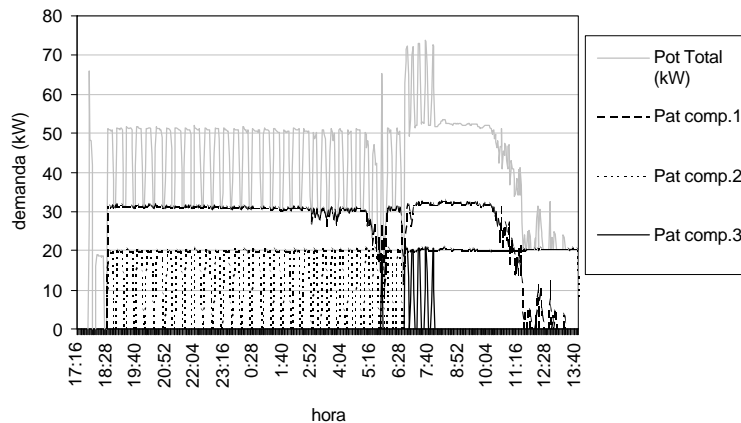


Figura 4.52 - Demanda dos compressores 1, 2 e 3 do resfriador alternativo de 100 TR.

Cada um dos dados das cargas essenciais são analisados manualmente para identificar o número de compressores ativados. Este procedimento está ilustrado graficamente na Figura 4.53. A técnica consiste em identificar patamares com diferenças equivalentes ao número de compressores possivelmente ligados. Conforme pode ser observado, o resfriador alternativo é responsável por variações de até 41 kW.

Durante as medições, o compressor 4 não ficou ativado durante tempo significativo, impossibilitando a determinação da eficiência com 100% de carga. Porém, para 16 horas de monitoração, o resfriador alternativo funcionou com apenas o compressor 1 ligado 21,5 % do período; com os compressores 1 e 2 ligados 73,8 % do período; e com os compressores 1, 2 e 3 ligados durante 4,7 % do período.

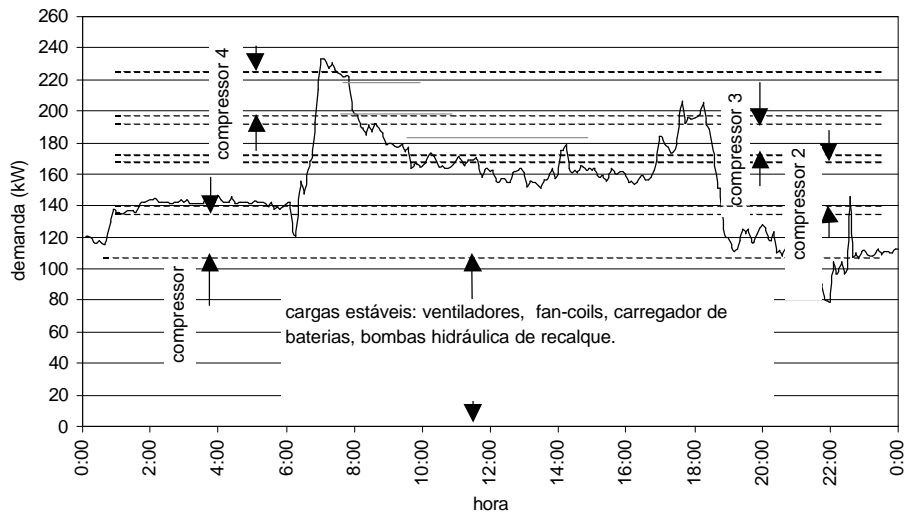


Figura 4.53 - Identificação do acionamento dos compressores do resfriador alternativo no perfil de cargas essenciais.

A partir do perfil de cargas essenciais sem o resfriador alternativo, subtrai-se o consumo das cargas de climatizadores e bombas hidráulicas caracterizadas anteriormente. O perfil resultante é composto pelas cargas de consumo declaradas em padrões de uso, como equipamentos e iluminação. Considerando-se que a iluminação é constante (de emergência), identificou-se o valor mínimo do perfil resultante, e assumiu-se que 50% de seu valor é de iluminação. As três componentes que compõem o perfil básico são apresentadas na Figura 4.54, com destaque para o consumo dos equipamentos modelados por padrões de uso.

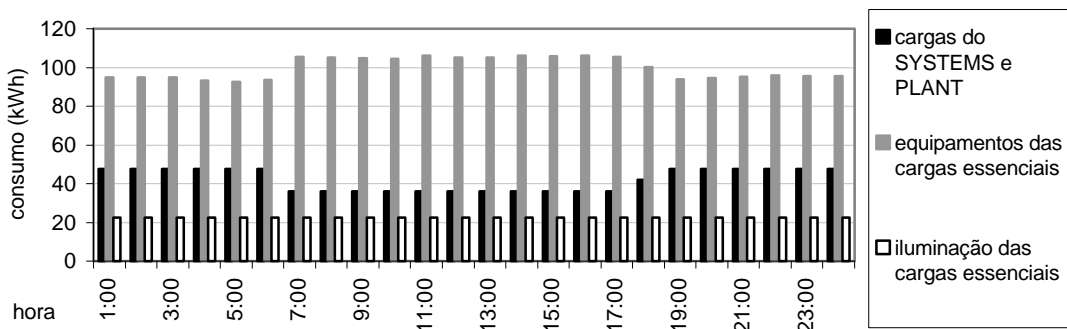


Figura 4.54 - Padrões de uso das cargas essenciais.

4.4.5. Trafo 3 (Transformador do Sistema de Resfriamento)

A monitoração das cargas do Trafo 3 envolveu mais recursos que os demais devido à natureza das suas cargas de consumo. Sua monitoração empregou três RE 100: para cada centrífuga de 400 TR (apresentada na Figura 4.55) e um RE1000 para todo o sistema (inclusive as centrífugas).



Figura 4.55 - Detalhe de uma das centrífugas de 400 TR.

Os resultados apresentados na Figura 4.56 demonstram resultados coerentes com os padrões de acionamento obtidos de entrevistas com o pessoal técnico e de planilhas de rotina do departamento de manutenção. As curvas foram extraídas do dia 20 de fevereiro de 1997.

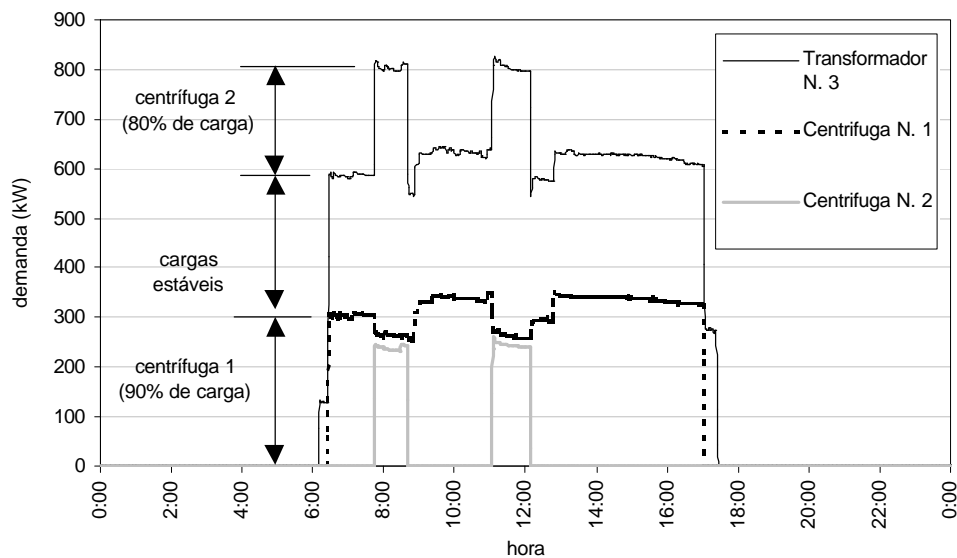


Figura 4.56 - Medição das cargas de consumo do Trafo 3 e das duas centrifugas de 400 TR cada.

A centrifuga 1 foi acionada às 6:00 horas com 90% da carga total e a centrifuga 2 às 7:00 horas com 80% da carga total. Os dois acionamentos da centrifuga 2 são claramente observados no desenvolvimento da curva do Trafo 3, indicando a presença de cargas aproximadamente constantes. Este comportamento é confirmado na separação das cargas apresentadas na Figura 4.57 quando se subtrai as cargas das centrifugas das cargas totais do Trafo 3. A curva do gráfico com comportamento aproximadamente constante (valores próximos de 300 kW) é creditada às cargas estáveis e a outra curva é creditada às centrifugas 1 e 2, com cargas entre 300 e 520 kW.

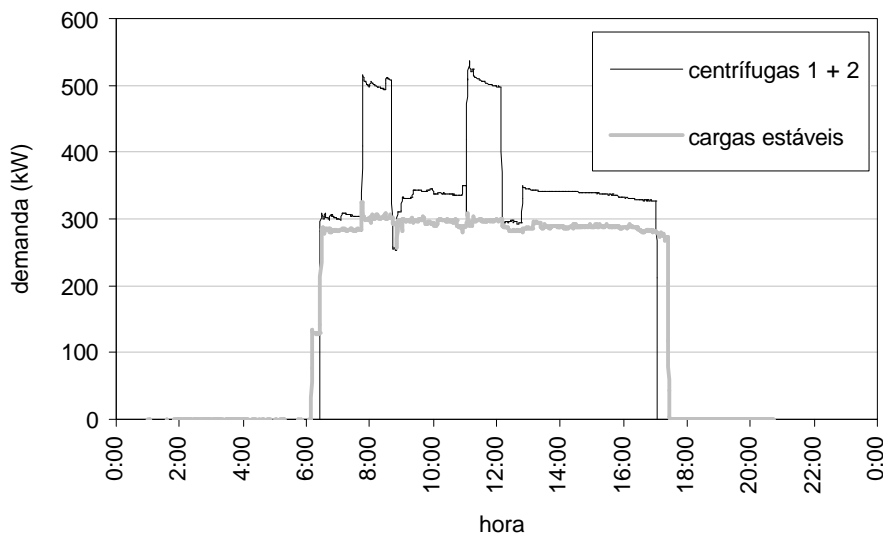


Figura 4.57 - Separação das cargas dependentes e não dependentes do clima.

A subtração das cargas de climatizadores e bombas hidráulicas do perfil de cargas não-dependentes do clima apresentada na Figura 4.57, de forma análoga à apresentada anteriormente para cargas essenciais, indica que este transformador não atende as cargas de iluminação e equipamentos declaradas por padrões de uso, haja visto que o resultado foi aproximadamente zero

4.4.6. Consumo de Energia de Elevadores

Freqüentemente os elevadores são responsáveis por parcelas significativas do consumo de energia elétrica de edificações. Em virtude das expectativas criadas em torno dos seus consumos, e devido ao caráter irregular do seu funcionamento, procedeu-se a monitoração. O edifício comporta dois elevadores: um de carga e outro de serviço, que monitorados, resultou no gráfico da Figura 4.58.

A análise dos histogramas evidencia entrada de usuários no prédio, estendendo-se até as últimas horas da noite, durante ocupação pelo pessoal da limpeza. Atingem picos de consumo de 11,5 e 13,5 kWh, para elevadores de serviço e de cargas respectivamente. Assumindo que o perfil de carga diário apresentado ocorre em todos os dias úteis do ano de 1995, observa-se que sua participação sobre o consumo total de energia elétrica anual é de apenas 1,36%, dispensando uma modelagem específica do seu padrão de uso.

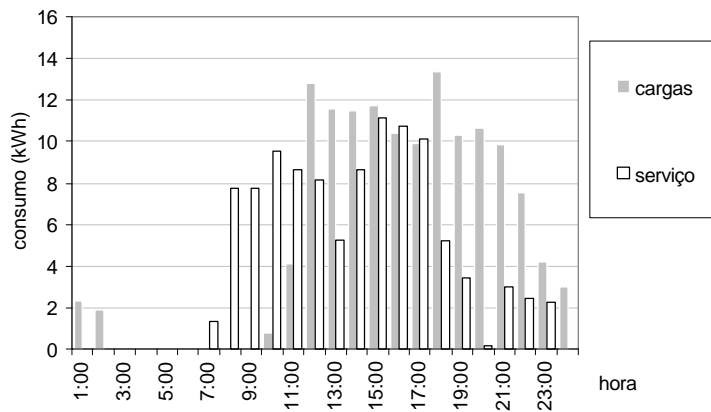


Figura 4.58 - Perfil de consumo dos elevadores.

4.4.7. Determinação dos Padrões de Uso Finais

O procedimento de geração dos padrões de uso consiste em separar as cargas de iluminação e de equipamentos de cada ramal analisado (Trafo 1, Trafo 2, cargas essenciais e Trafo 3) para criar um único padrão de uso de iluminação e um único padrão de uso para equipamentos. Como foi mencionado na metodologia, a forma de representação de padrões de uso para equipamentos ou iluminação consiste em declarar quanto se consome a cada hora (valor percentual) em relação a um dado valor de referência. Esse valor pode ser a carga instalada ou o valor máximo encontrado entre as 8.760 horas do ano. A partir dos dados obtidos nessa abordagem foram definidos dois padrões diários de uso de iluminação (Figura 4.59) e dois para equipamentos (Figura 4.60), identificados para dias úteis e para feriados. Os valores que aparecem em ambos os gráficos são os máximos.

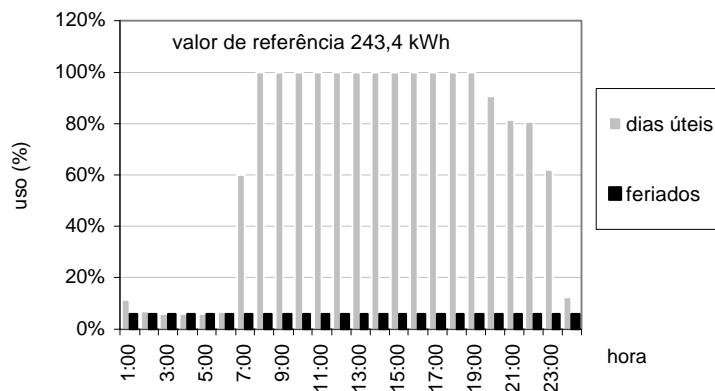


Figura 4.59 - Padrões de iluminação.

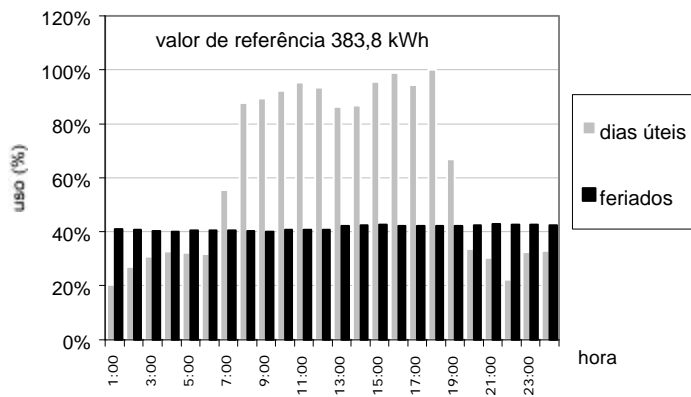


Figura 4.60 - Padrões de uso de equipamentos para feriados.

4.4.8. Aplicação dos Resultados : Modelos *USOFINAL* e *USOFINAL-AC*

Os resultados obtidos das medições de energia por uso final foram aplicados em dois modelos para avaliar a influência da caracterização dos climatizadores e das bombas hidráulicas do sistema de condicionamento de ar. O primeiro emprega somente os padrões de uso obtidos para iluminação e equipamentos em geral, corrigindo o modelo MEMMASSA e gerando o modelo *USOFINAL*. O segundo modelo, que caracteriza os climatizadores e bombas, é uma evolução do modelo *USOFINAL* e recebe o nome de *USOFINAL-AC*.

Observa-se que somente a correção dos padrões de uso aproximou a curva de consumo simulada da curva real, conforme Figura 4.61, gerando uma diferença média mensal de -2,13%, com diferenças entre -7,61% em agosto e 6,26% em dezembro.

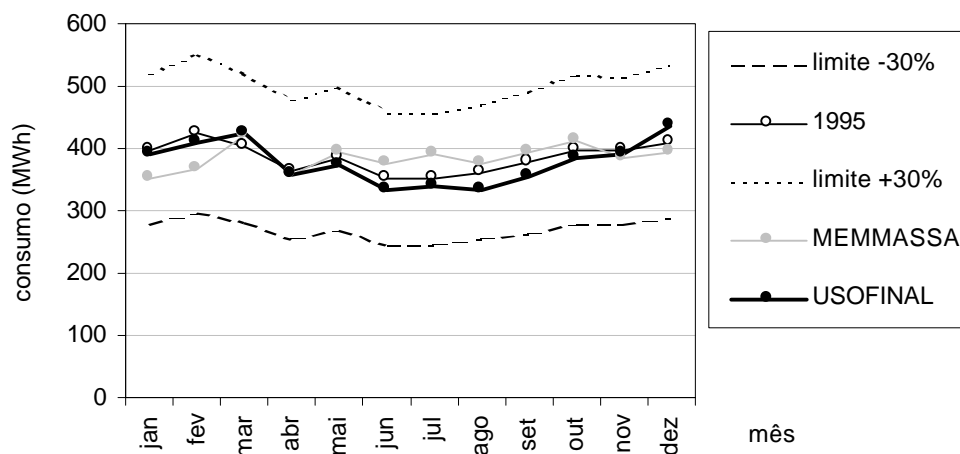


Figura 4.61 - Avaliação do modelo *USOFINAL*.

Como a caracterização dos climatizadores e das bombas hidráulicas estão associadas às vazões de água e ar, o procedimento usual é levantar esses dados de campo e declará-los no modelo. O modelo é simulado e seus dados de consumo (consumo de bombas hidráulicas e de climatizadores, em separado) são comparados com os dados reais de consumo para determinar as respectivas diferenças. Como o objetivo é aproximá-las, as variáveis são reajustadas até que as performances de cada equipamento se aproximem (simulado com o real).

Após três séries de correções seguidas de simulações sobre o modelo USOFINAL-AC, obteve-se performances superiores ao modelo anterior (USOFINAL), conforme evolução Figura 4.62. A diferença de consumo anual foi de 4,42%, enquanto a maior diferença registrada corresponde à dezembro, de 12,43%.

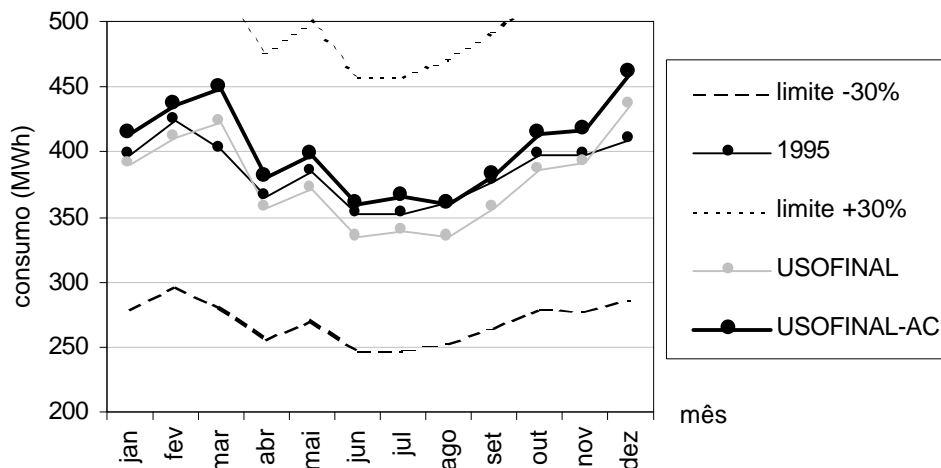


Figura 4.62 - Avaliação do modelo USOFINAL-AC.

4.5. Grupo IV - Estimativa de Eficiência dos Resfriadores de Líquidos

A estimativa das eficiências dos refrigeradores de líquidos do tipo centrífuga e do tipo alternativo foi executada em parceria com o mestrando Mário Vargas, do Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, o qual tem esse tema como objeto central de estudos, e o detalha em sua dissertação. Na abordagem apresentada a seguir, a caracterização da eficiência do resfriador tem o objetivo principal de avaliar sua influência sobre o modelo e sobre sua fidelidade para com o edifício analisado. A forma adotada para caracterizar a eficiência consistiu em estimá-la para uma dada condição específica de 29,4°C de temperatura de entrada de água de condensação e

6,7°C para a temperatura de saída de água gelada, conforme indicações da ASHRAE. Até o momento, todos os modelos desenvolvidos empregavam os valores de *default* do DOE-2, que corresponde à eficiência nominal de 0,260 kW de consumo de energia para cada 1 kW de refrigeração produzido. A seguir, são apresentadas os processos de medição inerentes ao método.

4.5.1. Medições de Temperaturas

Fez-se a monitoração das temperaturas de água gelada e de água de condensação com termopares tipo K e o sistema de aquisição SmartReader 6 Plus (características no Anexo E), entre 20 e 23 de fevereiro de 1997. Os termopares foram calibrados previamente e suas curvas foram declaradas no programa que acompanha o sistema e o intervalo de leitura empregado foi de dois minutos. A medição da temperatura do fluxo de água foi realizada através da introdução dos termopares em orifícios reservados aos termômetros de bulbo na tubulação de água, conforme Figura 4.63. Esses orifícios são originais do sistema de refrigeração e prestam para determinarem a diferença de temperaturas da água ao passar em cada resfriador. Foram medidas as temperaturas de entrada de água de condensação da centrífuga 2, entrada de água gelada da centrífuga 1 (igual à da centrífuga 2), saída de água de condensação das centrífugas 1 e 2, e saída de água gelada das centrífugas 1 e 2.

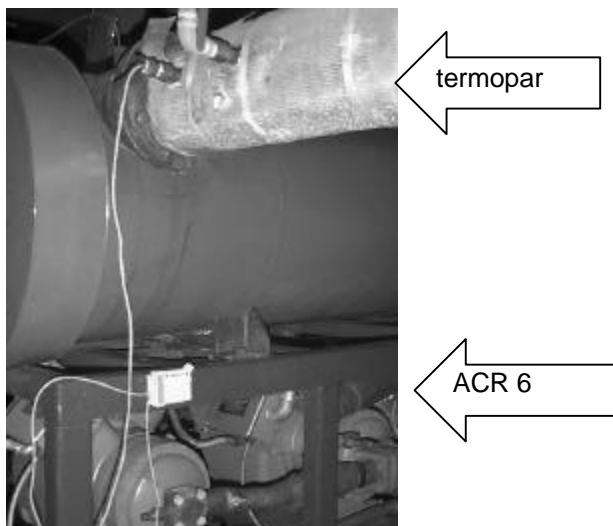


Figura 4.63 - Detalhe de medição de temperatura de água.

Ainda que a instalação dos termopares tenha sido rápida e simples, alguns períodos monitorados foram comprometidos pela qualidade dos seus sinais, decorrente

de imperfeições de seus isolamentos elétricos nas extremidades, e do descascamento da película de verniz durante o manuseio do material.

A Figura 4.64 demonstra que monitoração da centrífuga 1 foi suficientemente representativo durante seu período de funcionamento, entretanto a centrífuga 2 funcionou somente uma hora e saiu de operação automaticamente, comprometendo a determinação de sua eficiência.

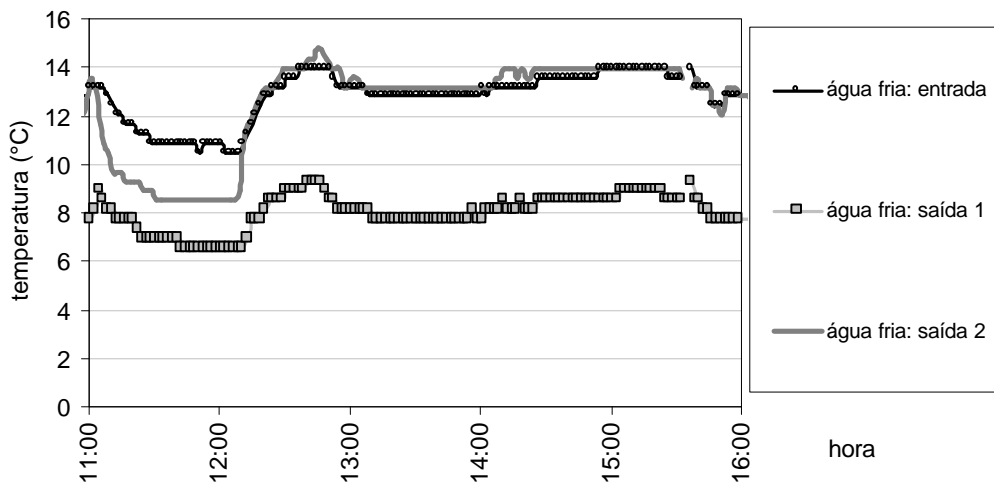


Figura 4.64 - Evoluções de temperaturas de água gelada das centrífugas.

O procedimento de monitoração do resfriador alternativo de 100 TR (quatro compressores da marca Carrier) foi o mesmo, porém em dias diferentes devido à disponibilidade de equipamentos de medição. A evolução das temperaturas de entrada e saída de água gelada apresentadas na Figura 4.65 correspondem à um final de semana, de 0:00 horas da sexta-feira, às 12:00 horas de segunda-feira, sendo desligada no início das atividades do mesmo dia.

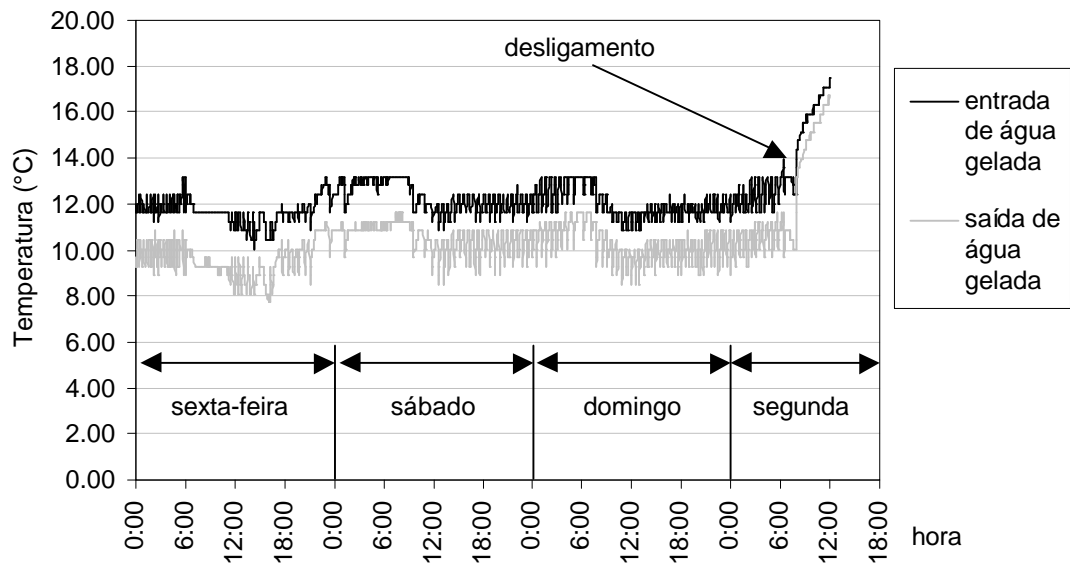


Figura 4.65 - Monitoração de temperatura de água gelada do resfriador alternativo.

4.5.2. Consumo de Energia Elétrica

Fez-se a monitoração do consumo das centrífugas com o RE1000 (mesmo equipamento usado na medição de energia por uso final), conectado em seis pontos no interior do quadro elétrico de cada centrífuga, sendo três para medição de corrente e três para medição de diferença de potencial entre as três fases, além do aterramento. Empregou-se o tempo de integração de um minuto. Todas as ligações dos sensores no quadro elétrico foram executadas pelos técnicos da CELESC. A monitoração do resfriador alternativo empregou o SmartReader 3, em virtude da falta de disponibilidade de mais um equipamento RE1000. Neste caso, adotou-se um fator de potência de 0,96 para determinação do consumo de cargas ativas, baseado no fator de potência dos resfriadores do tipo centrífuga. Conforme pode ser observado na Figura 4.66, o consumo do resfriador alternativo oscilou entre 58 e 87 kW.

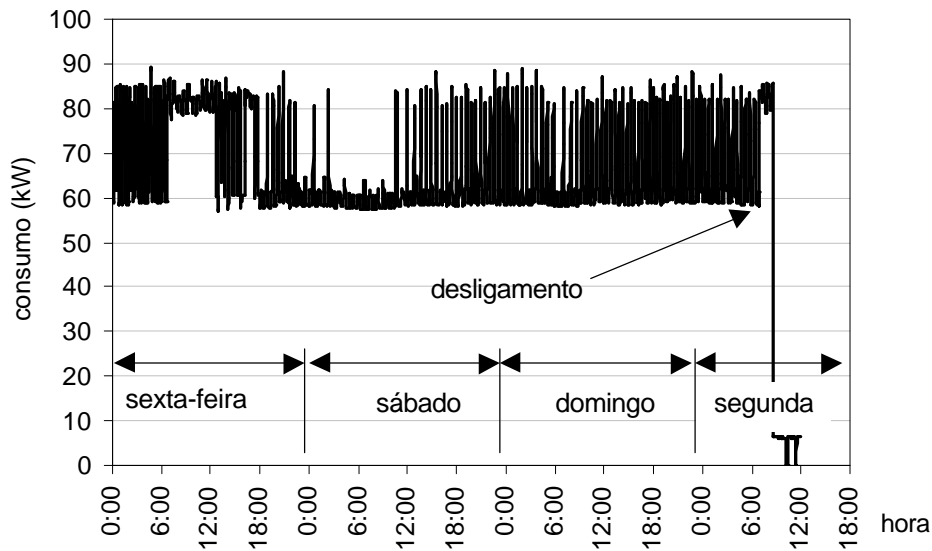


Figura 4.66 - Monitoração do consumo de energia do resfriador alternativo.

A monitoração do consumo de energia das centrífugas está limitado a 1:30 horas. O gráfico da Figura 4.67 demonstra um consumo uniforme para a centrífuga 2, enquanto a centrífuga 1 apresenta variações no decorrer das medições. Atribui-se esse comportamento às alterações da carga parcial regulada no painel do equipamento, por funcionários da empresa.

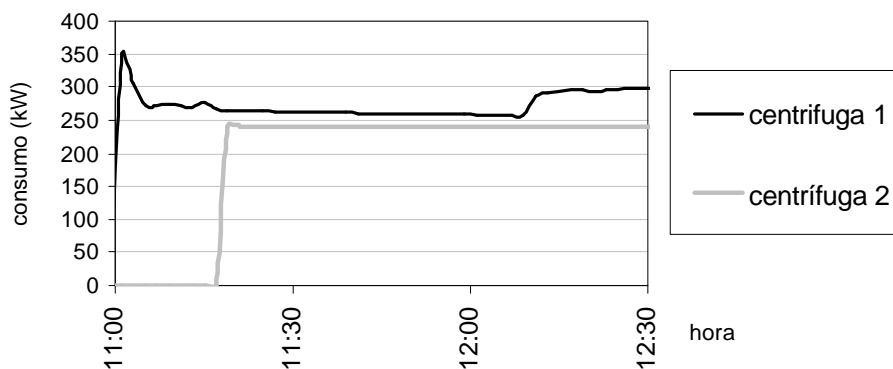


Figura 4.67 - Monitoração das cargas de consumo das centrífugas.

4.5.3. Estimativa de Vazão

A determinação do fluxo de água gelada demonstrou sua complexidade à medida que os métodos conhecidos foram abordados. As primeiras tentativas se basearam na medição do ponto de operação das bombas hidráulicas. Mede-se o

diferencial de pressão entre a sucção e recalque e rotação e com o gráfico fornecido pelo fabricante, determina-se a vazão de catálogo. Através das equações de semelhança, corrige-se seu valor para a rotação lida. Porém, a execução do método implica na aquisição e instalação de manômetros na linha de água gelada em substituição dos atuais que não são confiáveis devido ao tempo de uso (19 anos) e devido às próprias limitações do equipamento. Ao mesmo tempo que se estimula a monitoração automática das demais variáveis, a aplicação de manômetros eletrônicos compatíveis com o processo eleva os custos, a aplicação de manômetros do tipo convencional se torna um limitante. E finalmente, as curvas de performance das bombas sofrem a influência do tempo de uso e da manutenção, gerando ainda mais erros sobre o resultado final.

Outro método praticado em empresas de manutenção de condicionador de ar consiste na determinação da vazão indiretamente. Mede-se a potência elétrica do motor, estima-se a potência no eixo do motor através da sua eficiência e a aplica sobre as curvas de performance da bomba de água. Sua aplicação mediu diversos valores de potência dos motores elétricos, entre 43,6 e 47,0 kW. Assumindo que a eficiência dos motores elétricos que acionam as bombas estão entre 0,8 e 0,9 (e convertendo kW em HP), conclui-se que a potência direta no eixo do motor está entre 48,8 e 56,7 HP. Entrando com estes valores no eixo vertical à direita do gráfico da Figura 4.68, intercepta-se a curva específica de bombas para rotores com diâmetro de 310 mm e rotação de 1740 rpm e obtém-se no eixo horizontal superior do gráfico valores de vazão entre 240 e 390 m³/h. Há uma série de críticas à esse método, como a impossibilidade de determinação da eficiência dos motores elétricos que são originais à instalação. Observou-se ainda que um dos motores que passou por rebobinamento, apresenta ruídos e aquecimento irregulares, reduzindo ainda mais sua eficiência. A exemplo do método anterior que emprega as curvas de performance, as curvas das bombas comprometem o método pela falta de fidelidade à condição real e pela falta de precisão do método. Logo, esse método também se mostrou impraticável para a abordagem proposta.

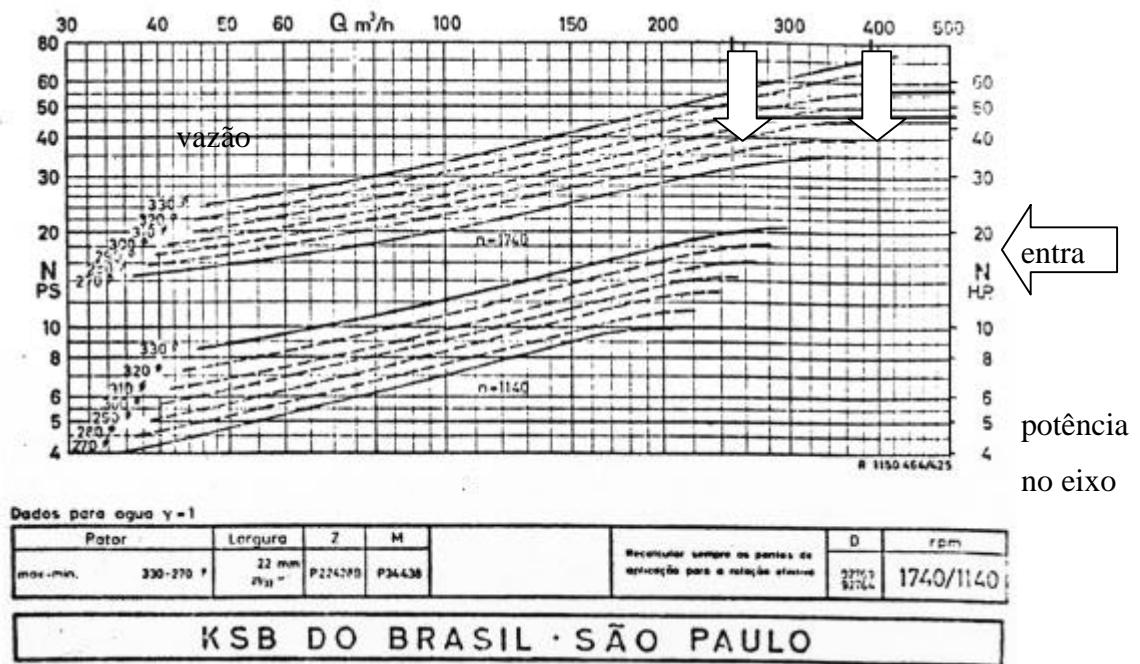


Figura 4.68 - Curvas de performance da bomba hidráulica de água gelada.

Como as simplificações de estimativa se apresentaram impraticáveis, procedeu-se o levantamento de métodos de medição da vazão de forma direta. As opções variaram entre o emprego de medidor do tipo ultra-sônico, com tecnologia não intrusiva (sem alteração da linha, ou inserção de elementos estranhos), e o emprego de medidor de velocidade do tipo Pitot, com uma turbina de inserção. Se por um lado a primeira opção é passível de emprego em outras edificações, seu custo é superior à R\$7.000,00. A segunda apresenta um custo inferior de equipamentos, mas envolve um custo de mão-de-obra maior, alterações e interrupções da linha de água existente, e nem sempre é reutilizável noutras edificações. A primeira opção foi descartada pelo alto custo e a segunda opção foi descartada pela falta de praticidade e custo.

Diante das limitações de recursos financeiros, prazo de entrega de equipamentos, tempo de execução dos métodos abordados e incertezas dos resultados gerados, nenhum dos métodos foi adotado. Diante do impasse e do comprometimento do método, foi adotada a vazão de água de projeto: 60,6 m³/h para o resfriador alternativo e 244,6 m³/h para cada centrífuga. A partir desta decisão, os resultados absolutos são questionáveis, entretanto oferecem subsídios para análise do método e desenvolvimento de metodologia adequada de monitoração de vazão de líquidos.

4.5.4. Estimativa de eficiência

A estimativa da eficiência se inicia com o levantamento da capacidade de refrigeração dos resfriadores, a partir da metodologia apresentada. O resfriador alternativo apresenta uma capacidade de refrigeração oscilante entre 70 e 200 kW, conforme Figura 4.69. Esta variação é decorrente do acionamento dos compressores.

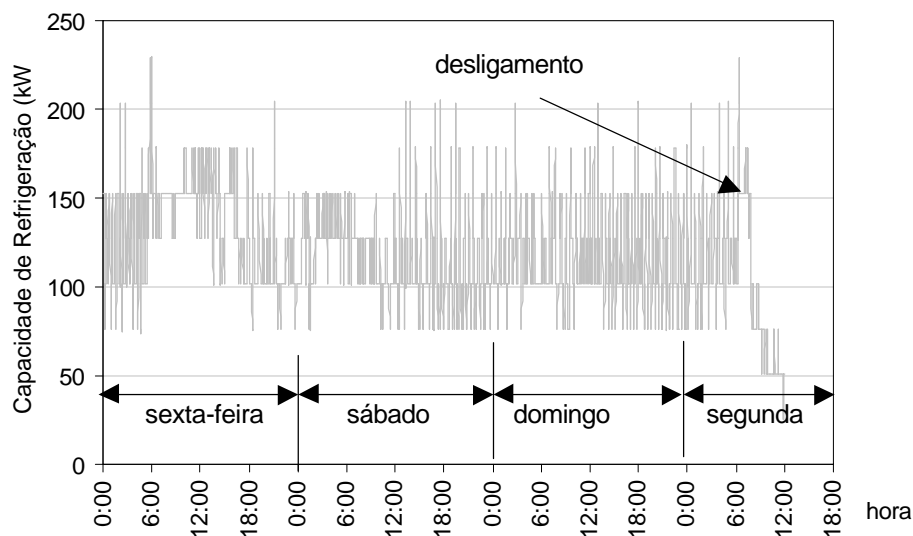


Figura 4.69 - Capacidade de refrigeração do resfriador alternativo.

A capacidade de refrigeração das centrífugas tem um caráter mais regular, segundo as características do equipamento, conforme Figura 4.70. Observa-se uma capacidade de refrigeração inferior da centrífuga 2, ainda que possuam as mesmas capacidades nominais e consumos de energia aproximados.

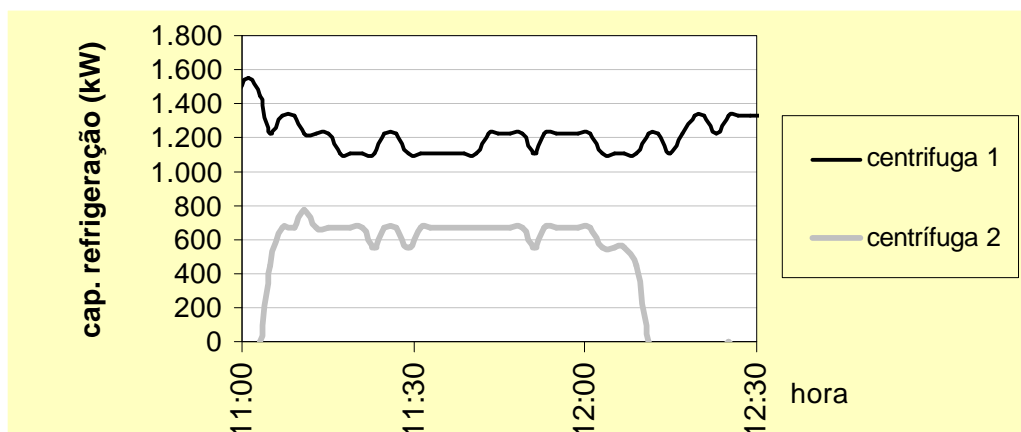


Figura 4.70 - Capacidade de refrigeração das centrífugas.

Como as temperaturas de água de gelada e de condensação variaram durante a monitoração, são apresentados a seguir valores de eficiência que se aproximam das condições prescritas para valores nominais.

- **Resfriador alternativo.** Como os dados de temperatura de água de condensação de entrada foram comprometidos por anomalias do termopar, a determinação da eficiência nominal se baseou no seu comportamento em relação à temperatura de saída de água gelada. Observa-se também na Figura 4.71 que a menor temperatura de saída de água gelada é próxima de 8°C, ou seja, 1°C superior ao prescrito. Consequentemente, assumiu-se que a capacidade de refrigeração nesta condição corresponde ao valor nominal.

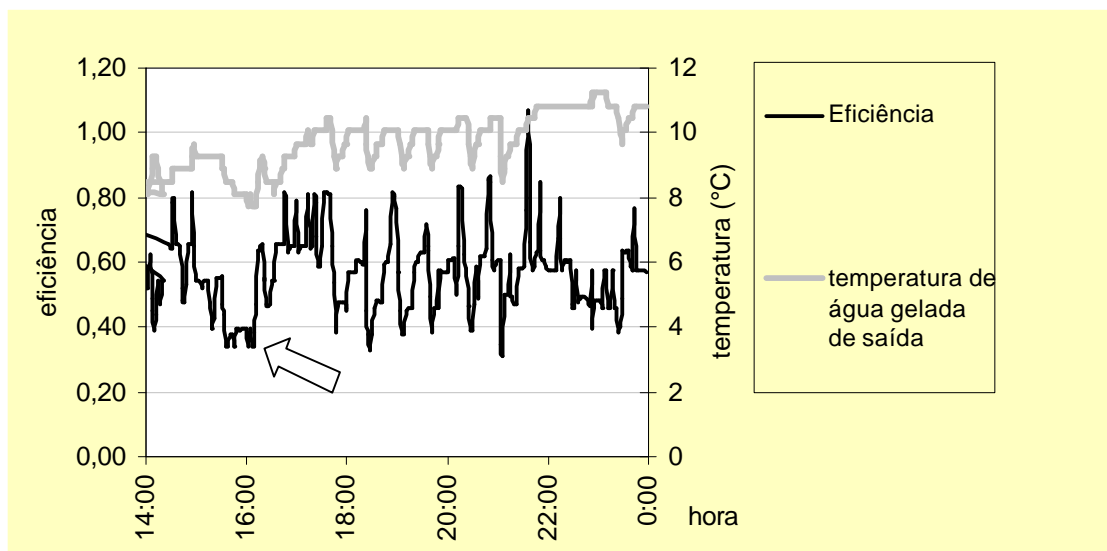


Figura 4.71 - Evolução da eficiência do resfriador alternativo e da temperatura de saída de água gelada.

Os valores de eficiência variaram regularmente entre 0,4 e 0,8 kW consumido para cada kW de refrigeração produzido (equivalente a 1,4 e 2,8 kW/TR), sendo que o menor valor corresponde às menores temperaturas de saída de água gelada (indicado pela seta).

- **Resfriadores Centrífugos.** A análise de um dia de dados monitorados da centrífuga 1 apontam para uma eficiência aproximadamente constante durante o dia, com valor médio de 0,23. Este valor é representativo para condições de temperatura de água de condensação de entrada de 29,4°C e temperatura de saída de água gelada de 6,7°C, conforme evolução das curvas apresentadas na Figura 4.72.

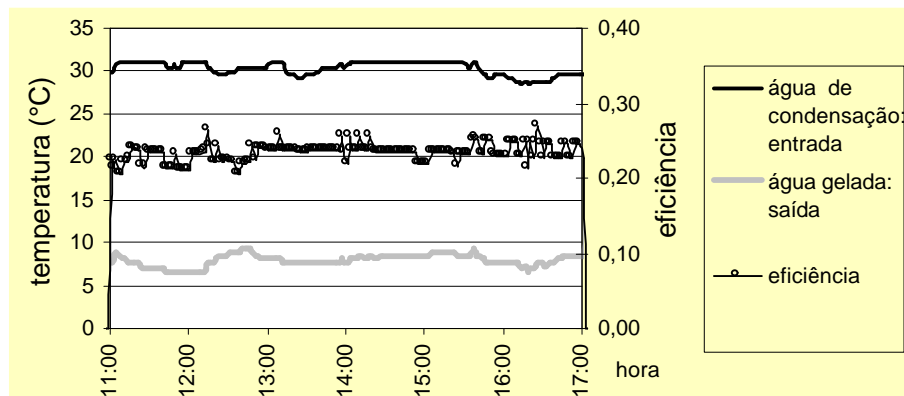


Figura 4.72 - Eficiência da centrífuga 1.

A determinação da eficiência da centrífuga 2 ficou restrita à apenas uma hora de monitoração. A análise da Figura 4.73 indica que sua operação atende a condição de temperatura de entrada de água de condensação (próxima de 30°C). Entretanto a menor temperatura registrada para saída de água gelada é de aproximadamente 10°C. Nestas condições, a eficiência corresponde a 0,36.

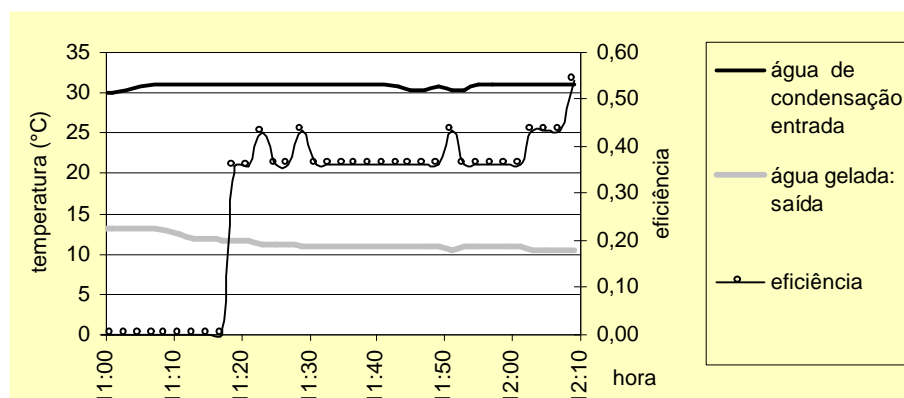


Figura 4.73 - Eficiência da centrífuga 2.

Os valores de eficiência determinados foram implementados no modelo anterior, USOFINAL-AC, sob o nome de COP.

4.5.5. Resultados Obtidos do Modelo COP

Observa-se claramente que a curva gerada pelo modelo se afasta do consumo real de energia principalmente nos períodos mais quentes, quando são solicitados a centrífuga de menor eficiência e o resfriador alternativo. A diferença média de consumo é 16,3% maior que o real, oscilando entre 1,8% em agosto à 36,4% em março.

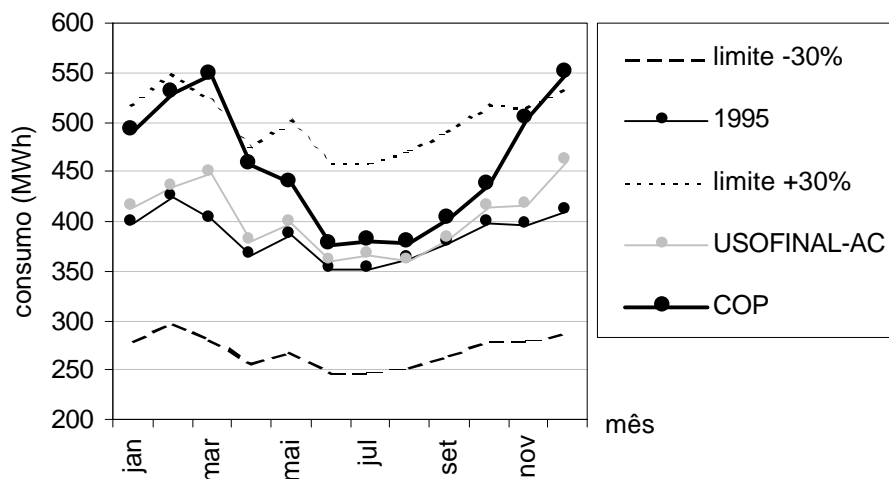


Figura 4.74 - Performance do modelo COP.

O desempenho do modelo não atende a tolerância imposta na metodologia porque ultrapassa a diferença de 30% entre o consumo mensal simulado e o real, em março e dezembro. Seu comportamento é atribuído a duas causas principais: condições operacionais dos resfriadores de líquidos e método de estimativa das suas eficiências.

Constatações do Eng^o Mecânico Alessandro Gil Catto, da Optimum Engenharia, revelaram vazamentos de óleo e fuga de gás dos resfriadores do tipo alternativo e do tipo centrífugo (centrífuga 2). A partir dessa observação, procedeu-se ao levantamento das rotinas de serviço junto ao departamento de manutenção do edifício. As principais notificações dizem respeito aos dois resfriadores do tipo centrífugo:

- a centrífuga 1 recebeu manutenção de 25.000 horas completadas em junho de 1996;
- a centrífuga 2 recebeu manutenção completa em março de 1995 e recebeu carga de gás complementar em novembro de 1996.

Após uma visita em meados de maio de 1997, foi registrado que este último resfriador foi tirado de operação (dado informal obtido junto aos técnicos) no início de maio, até chegada de técnicos da Eletrosul para nova recarga de gás refrigerante.

Ao contrário do que se espera, o impacto do aumento de consumo de energia mensal atribuído à perda da eficiência da centrífuga 2 é pouco perceptível devido às manobras de acionamento dos resfriadores. A princípio, seu acionamento foi relegado a segundo plano para complementação da carga de resfriamento da centrífuga 1. À medida que foi reduzindo seu desempenho, foi substituído pelo resfriador do tipo alternativo. Durante as medições de variáveis dos resfriadores, observou-se uma

relutância por parte dos funcionários em acionar a centrífuga 2, que pode ser interpretado como um sinal de seu comprometimento. Apesar do registro obrigatório das rotinas de acionamento (não são registrados os desligamentos) dos resfriadores, os documentos apresentaram somente 30% dos dados diários. A ausência dos registros comprometeram a modelagem através de padrões oficiais.

Diante das variações das eficiências dos resfriadores, cria-se um impasse: ao mesmo tempo que a modelagem está sendo corrigida com dados de consumo de 1995, algumas características mudaram e não correspondem ao período. Entretanto, é possível considerar que as eficiências dos resfriadores têm variado desde as últimas recargas de gás e que os funcionários têm exercido a função de selecionar os dois (entre os três disponíveis) que apresentam melhor comportamento. Supõe-se também que as maiores variações sobre as eficiências ocorreram em 1996, período que ambos os resfriadores do tipo centrífugo passaram por recarga de gás. Porém, antes de prosseguir com mais hipóteses, procurou-se avaliar a influência das eficiências estimadas sobre o modelo COP. Foi criado um segundo arquivo com as mesmas características, diferenciado unicamente pelas eficiências dos resfriadores que empregam a biblioteca do DOE-2, para simular performances de consumo em condições otimizadas de eficiências. Esse modelo foi denominado de *default*. A partir deste modelo, foram criados mais três, com o objetivo de analisar o impacto de cada estimativa de eficiência. O modelo COP-CENT1 emprega eficiência da centrífuga 1 igual à estimada e as demais de *default*. O modelo COP-CENT2 emprega eficiência da centrífuga 2 igual à estimada e as demais de *default*. E o modelo COP-ALT emprega eficiência do resfriador alternativo igual à estimada e as demais de *default*;

Baseado no gráfico da Figura 4.75, estabeleceu-se quatro curvas para parâmetros de análises.

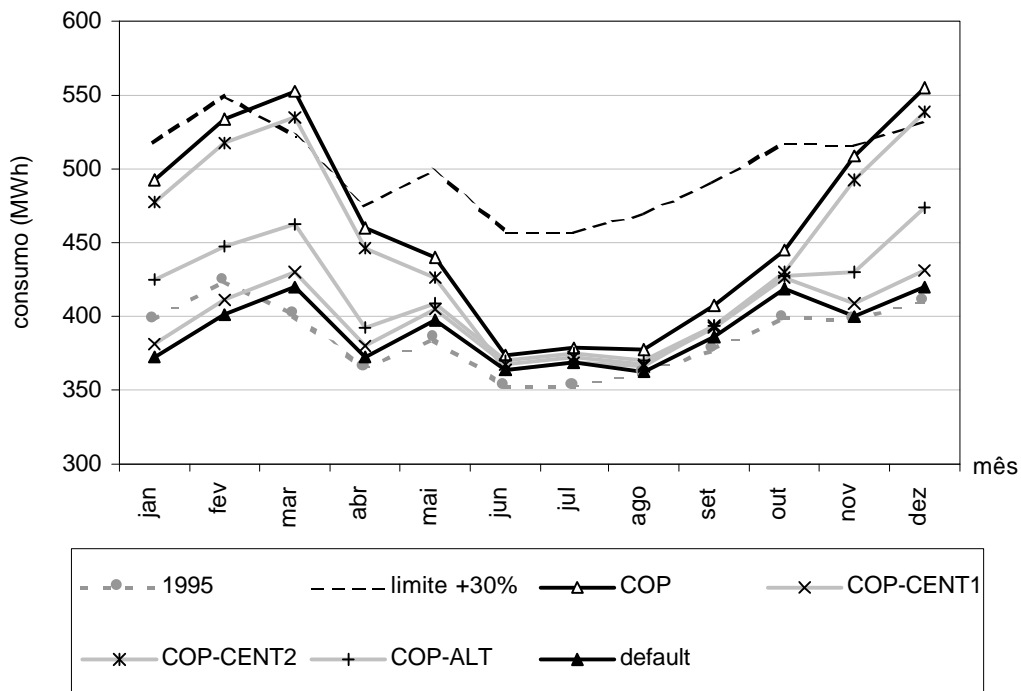


Figura 4.75 - Variações de consumo mensal para variações de eficiência das centrífugas e resfriador alternativo.

O gráfico da Figura 4.75 apresenta duas curvas de linhas grossas e pretas que correspondem aos limites de melhor desempenho dos resfriadores (modelo *default*) e ao pior desempenho (modelo original com eficiências estimadas: COP). As linhas tracejadas correspondem ao consumo mensal real de energia de 1995 e ao limite superior de 30%, empregado para aceitação do modelo. As demais curvas em cinza correspondem ao impacto de cada eficiência estimada. As análises são apresentadas a seguir.

- Os modelos apenas se aproximam no inverno, quando as centrífugas são menos solicitadas, principalmente a centrífuga 2.
- Nos períodos quentes, o modelo que emprega as eficiências estimadas supera a tolerância de 30% para com o real.
- O modelo que emprega as eficiências de *default* é o que melhor se aproxima da curva real de consumo, principalmente no verão.
- Há uma tendência das curvas convergirem no inverno.
- A influência da eficiência estimada da centrífuga 1 reflete uma boa condição de performance, haja visto que é preferencialmente acionada em todos os períodos. Sua diferença de consumo com o modelo *default* é de apenas 1,9% superior.

- F. O emprego de eficiência de *default* para o resfriador alternativo aumenta as diferenças de consumo durante o verão, gerando uma diferença superior ao consumo médio anual de 6,2%.
- G. A eficiência estimada da centrífuga 2 a coloca como principal causa das diferenças entre os consumos simulados e reais. Observa-se que seu comportamento é próximo do modelo COP, ultrapassando a tolerância aceitável de 30%. Sua influência no inverso é pequena porque quase não é acionada, haja visto que tem caráter complementar.

A partir destes resultados, conclui-se que não é possível modelar o resfriador do tipo centrífugo 2 devido às suas variações e porque não é representativo para o ano de 1995. Para contornar este problema, foram assumidas duas variações possíveis. A primeira opção retrata a situação do início de 1997, tal que a centrífuga 2 não seja empregada. E a segunda opção caracteriza a centrífuga 2 com a mesma eficiência da centrífuga 1. O desativamento da centrífuga 2 implica na falta de atendimento das cargas térmica em 17,7% dos períodos, porém suas diferenças entre os consumos mensais reais de energia são inferiores a 8,5%, conforme evolução da curva ALT+CENT1 da Figura 4.76. Há ocorrências de consumos menores que o real, a exemplo de janeiro e fevereiro. Logo, é patente que as rotinas de acionamento dos equipamentos podem obscurecer a influência das perdas de eficiências dos equipamentos e manter o consumo mensal da edificação nos padrões médios, ainda que implique no não atendimento das condições internas de temperatura.

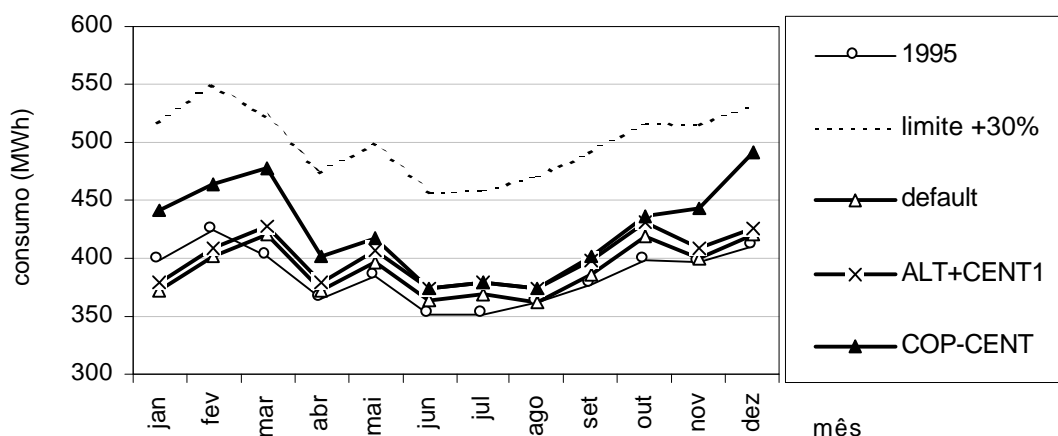


Figura 4.76 - Modelo atual, sem funcionamento da centrífuga 2.

O segundo modelo, o COP-CENT, que caracteriza a centrífuga 2 com o mesmo comportamento da centrífuga 1 (ALT+CENT1) é hipoteticamente o mais recomendado para representar as condições de operação de 1995, e por conseguinte, avançar o estudo de métodos de calibração de variáveis. Esta medida é justificada pelos fatos apresentados, como registro de perdas de gás corrigida somente em 1996, alteração radical das rotinas de acionamento dos resfriadores, observados em 1997, e suspeita de não atendimento do controle de temperatura. É necessário salientar que os registros de temperaturas internas monitoradas geradas na auditoria correspondem aos meses de setembro e outubro e que resultados de simulações demonstraram que é possível manter a temperatura interna controlada neste período, sem o acionamento da centrífuga 2 ou seja, a monitoração das temperatura internas nos meses de setembro e outubro pode não ser representativo para os demais períodos, quando os resultados de simulação demonstram que não há atendimento integral do resfriamento demandado.

A performance deste último modelo (modelo COP-CENT), com possível otimização da eficiência da centrífuga 2, demonstra que ainda é insuficiente para atender à demanda de carga térmica em 2% dos períodos. Sua diferença com o consumo mensal real oscila entre 3,6% e 19,9%, e a diferença média mensal é de 10,2%, conforme evolução demonstrada na Figura 4.77.

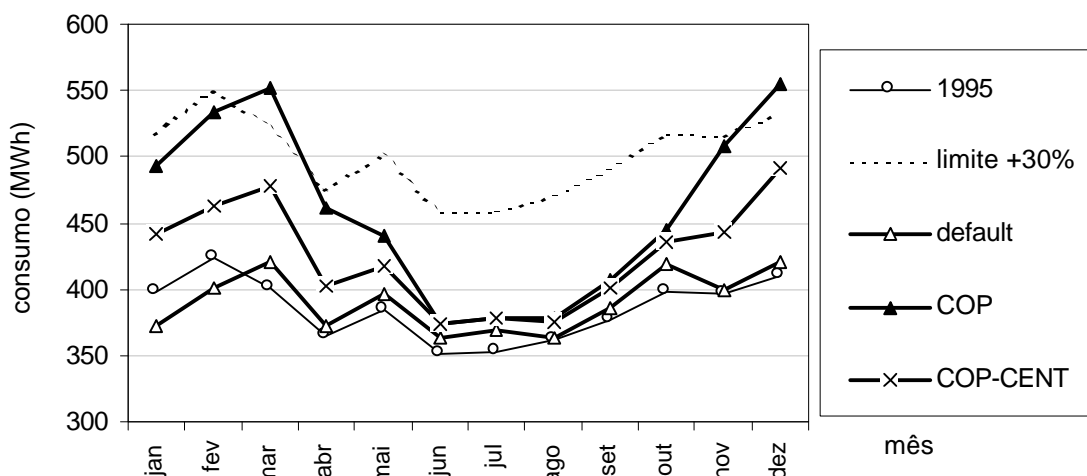


Figura 4.77 - Simulação para centrífugas com mesma eficiência.

4.6. Grupo V - Caracterização do Envoltório

A execução desta quinta e última abordagem foi seriamente comprometida por uma série de fatores, discutidos a seguir.

Uma vez que o procedimento descrito em literatura se baseia na medição indireta dos fluxos de calor de fora para dentro da edificação, principalmente nos períodos noturnos, há a necessidade de se realizar a monitoração em condições que os fluxos sejam acentuados, isto é, com as maiores diferenças de temperatura interna e externa possíveis. Considerando que o condicionador de ar mantém a temperatura interna em 24°C, a monitoração deve ser realizada sob temperaturas externas superiores. Neste caso, as condições climáticas restringem o período de monitoração a poucos dias do ano. A exemplo do ano de 1995 apresentado na Figura 4.78, onde cada ponto representa uma temperatura média horária das madrugadas dos meses de dezembro à março, observa-se uma alta frequência de valores inferiores à temperatura interna da edificação. Durante todo o ano, somente duas madrugadas apresentaram temperaturas superiores à 30°C.

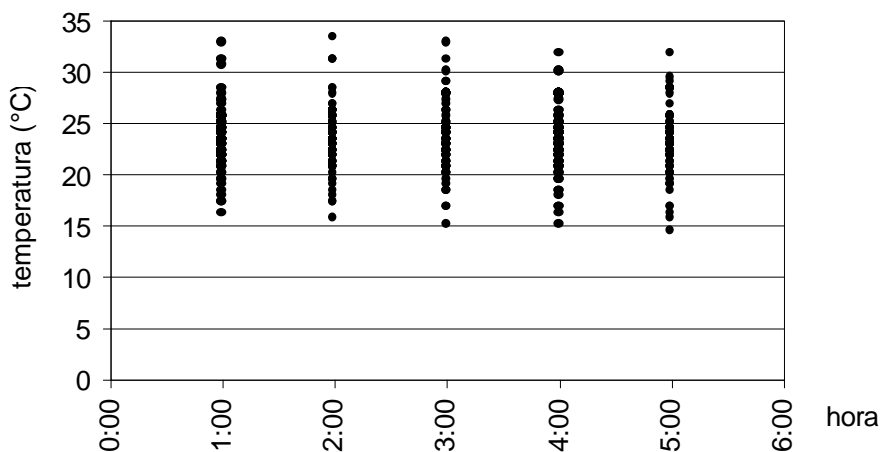


Figura 4.78 - Evolução de temperaturas durante as madrugadas de dezembro, janeiro, fevereiro e março do arquivo climático de 1995.

A monitoração das condições climáticas foi creditada à estação solarimétrica da UFSC, o LABSOLAR, responsável pelo levantamento de arquivos climáticos para Florianópolis. Entretanto, a estação solarimétrica passou por uma mudança de localização, do prédio antigo do Departamento de Engenharia Mecânica, para o prédio novo do mesmo departamento, no início de dezembro de 1996. Devido a fatores

decorrentes desta mudança, sua reabilitação foi prorrogada continuamente, estendendo-se de janeiro à abril de 1997. Dessa forma, os períodos em que ocorreram temperaturas superiores a 25°C não foram monitorados. Paralelamente, foram experimentadas adaptações para contornar o problema, empregando um sistema de aquisição de dados do LMPT, usado em bancadas experimentais. Porém, problemas de funcionamento do relógio interno do equipamento inviabilizou a adaptação. Se por um lado, a EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.) e a base aérea de Florianópolis monitoram o clima, seus dados de radiação solar não são apropriados para a realização dos testes de ganhos solares.

Os testes térmicos são realizados durante alguns dias, em períodos que o prédio não apresenta ocupação. Conseqüentemente, há um custo adicional associado ao funcionamento do sistema de refrigeração. Como a permissão para a execução do método nem sempre é bem recebida pela empresa e demanda um período para aprovação, o trâmite burocrático compromete a agilidade do método à medida que os dias escolhidos para os testes são decididos com pouca antecedência.

Os resultados obtidos da quarta abordagem evidenciaram limitações quanto à estimativa de eficiência dos resfriadores de líquidos. As medições de temperaturas executadas com termopares apresentaram sinais com interferências em alguns períodos, e a forma de determinação da vazão de água gelada não foi solucionada, ou seja, o método precisa ser desenvolvido.

Diante dos empecilhos apresentados, procedeu-se à análise da sensibilidade do envoltório, baseada em simulações do último modelo calibrado, o COP-CENT. Esta medida se justifica nesta fase dos trabalhos, haja visto que as variáveis associados aos padrões de uso da edificação, ao SYSTEMS e ao PLANT estão calibradas.

4.6.1. Análise de Sensibilidade do Modelo COP-CENT

A análise das cargas térmicas mensais apresentadas na Figura 4.79 (emitidas pelo relatório LS-F) evidenciam nove fontes de carga térmica significativas. As principais cargas são a radiação solar em aberturas; a iluminação, e os equipamentos. Ganhos por infiltração, cobertura e ocupação (metabolismo dos ocupantes) são equivalentes e apresentam uma participação intermediária, enquanto que os ganhos por paredes, pisos e convecção nas aberturas são inferiores à 3%. Considerando que as variáveis associadas às cargas de iluminação e de equipamentos foram previamente calibradas, as atenções se concentram nas variáveis associadas à radiação incidente e nas variáveis

associadas à infiltração, à cobertura e ao metabolismo dos ocupantes. Das cargas passíveis de correções, apenas a de ocupação não depende do clima e não está associada ao envoltório.

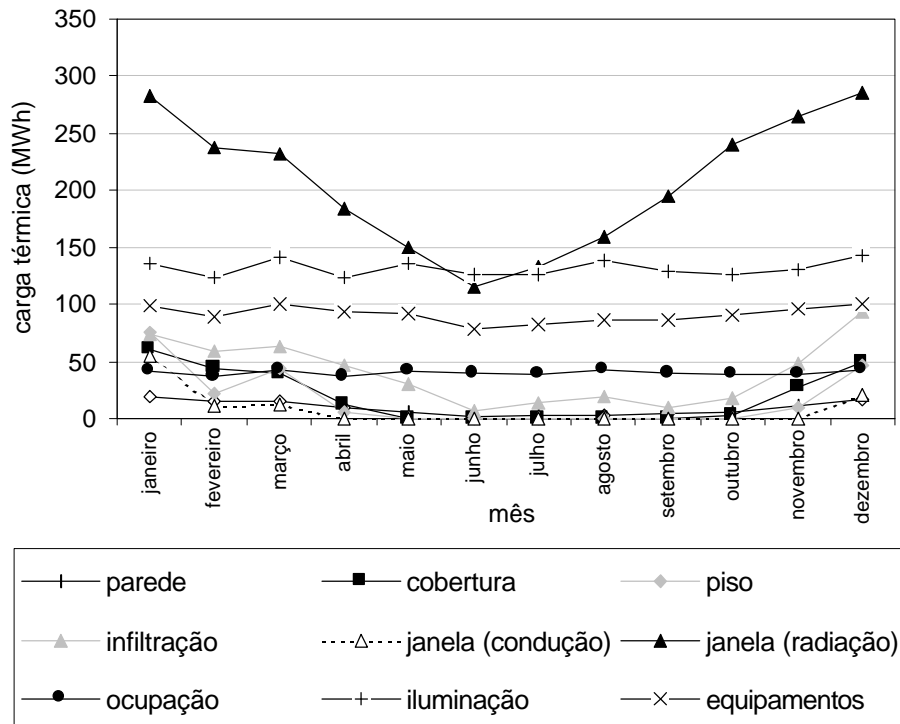


Figura 4.79 - Evolução das cargas térmicas mensais.

A partir destas análises, procede-se a determinação das variáveis passíveis de correção para submetê-las à simulação paramétrica. As faixas de valores apresentadas para as variáveis são praticamente as mesmas identificadas no levantamento da sensibilidade de variáveis do Grupo I. Ressalta-se que embora a variável de ocupação não esteja associada ao envoltório, também é analisada devido à sua influência sobre o modelo.

GANHOS SOLARES

Conforme abordagem anterior que explicou as dificuldades de identificação do coeficiente de sombreamento, foram adotados valores de 0,15 a 0,51 para as aberturas com venezianas externas, e 0,3 para o domo zenital. Devido às características das cargas de radiação, similares às diferenças entre os consumos simulados e reais, fez-se nova análise de sensibilidade das variáveis pertinentes aos ganhos solares. Estimativas a

partir de simulações indicam que o domo é responsável por 16% da radiação solar incidente, variando entre 9% no inverno e 24% na primavera. É formado externamente por um conjunto de carcaças de polímeros translúcidos de cor branca leitosa (Figura 4.80), apoiadas numa estrutura de alumínio em forma de treliça (vazada), sem recursos para orientação dos raios de luz, conforme Figura 4.81.

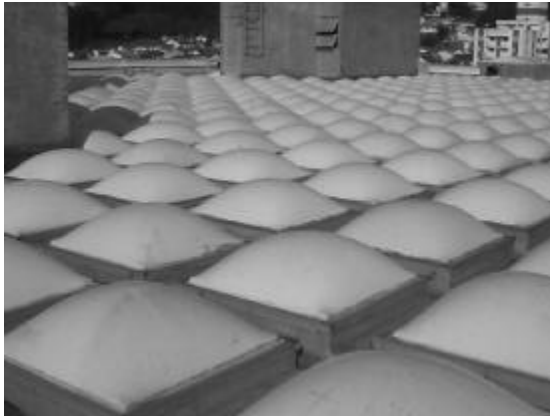


Figura 4.80 - Vista externa do domo.



Figura 4.81 - Vista interna do domo.

Abaixo do domo, há um vazio de aproximadamente um metro de altura, visível na Figura 4.82, assistida por ventiladores de exaustão. As calhas das luminárias são confeccionadas em acrílico translúcido, esbranquiçado. Como a maioria das luminárias, as laterais das calhas são vazadas para permitir a passagem do ar (visível na Figura 4.83). A forma do conjunto torna sua caracterização complexa na medida em que as características dos materiais são ignoradas; há o sombreamento das estruturas e o coeficiente de sombreamento varia com o tempo. Como abordagens criteriosas demandam custos e tempo, estes devem ser justificados mediante testes de sensibilidade do modelo para com as variáveis associadas ao domo. Neste caso, adotou-se uma faixa de valores de coeficiente de sombreamento baseada na percepção do modelador: mínimo de 0,2 e máximo de 0,6.



Figura 4.82 - Detalhe do vão livre entre a luminária e o domo.



Figura 4.83 - Detalhe das calhas do átrio.

METABOLISMO DOS OCUPANTES

A faixa de valores possíveis de metabolismo dos funcionários da Eletrosul corresponde às atividades desenvolvidas, que oscilam entre o trabalho leve de escritório à atividade leve em pé, 130 e 160 W respectivamente (1993 ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS , TABELA 3, página 26.8).

COBERTURA

Haja visto que a cobertura recebeu atenção diferenciada de caracterização nas primeiras modelações, considera-se que pode-se assumir comportamento de laje seca ou de saturada, conforme abordagem do Grupo I.

INFILTRAÇÃO

Tentativas de medição da infiltração por aberturas evidenciou notória influência das correntes de ar devido às aberturas no subsolo, intermediário e térreo, ligadas diretamente e indiretamente às áreas climatizadas (entrada de garagens e de serviços). O tratamento adequado corresponde ao levantamento da infiltração para cada sentido e velocidade de vento predominante e sua associação com o arquivo climático. Diante da impossibilidade de execução, adota-se a classificação da ASHRAE FUNDAMENTALS (1985) que emprega como base de cálculo os seguintes valores de infiltrações: 0,46 m³/h para edifícios pouco vazados e 2,70 m³/h para muito vazados.

4.6.2. Resultados de Análise de Sensibilidade do Envoltório

A análise da sensibilidade do modelo para com as variáveis pertinentes às cargas por radiação demonstra que o modelo é sensível durante todo ano, conforme evolução das curvas de consumo de energia mensal apresentadas na Figura 4.84.

O domo é a variável que apresentou maior influência sobre o modelo. A adoção do menor valor para o sombreamento reduziu em modestos 0,6% do consumo de energia anual, enquanto a maior variação ocorreu em novembro, com 0,9% e deixou de atender a carga térmica em apenas 1,6% do período (o modelo *base* ou *eerCENT* deixa de atender 2,0%). A mudança do SC para 0,5 aumentou em 5,3% o consumo de energia anual e a maior variação ocorreu em outubro, com 7,6%. Entretanto, esse comportamento é decorrente da falta de atendimento da carga de refrigeração pelo sistema atual, que perde o controle das condições de temperatura interna.

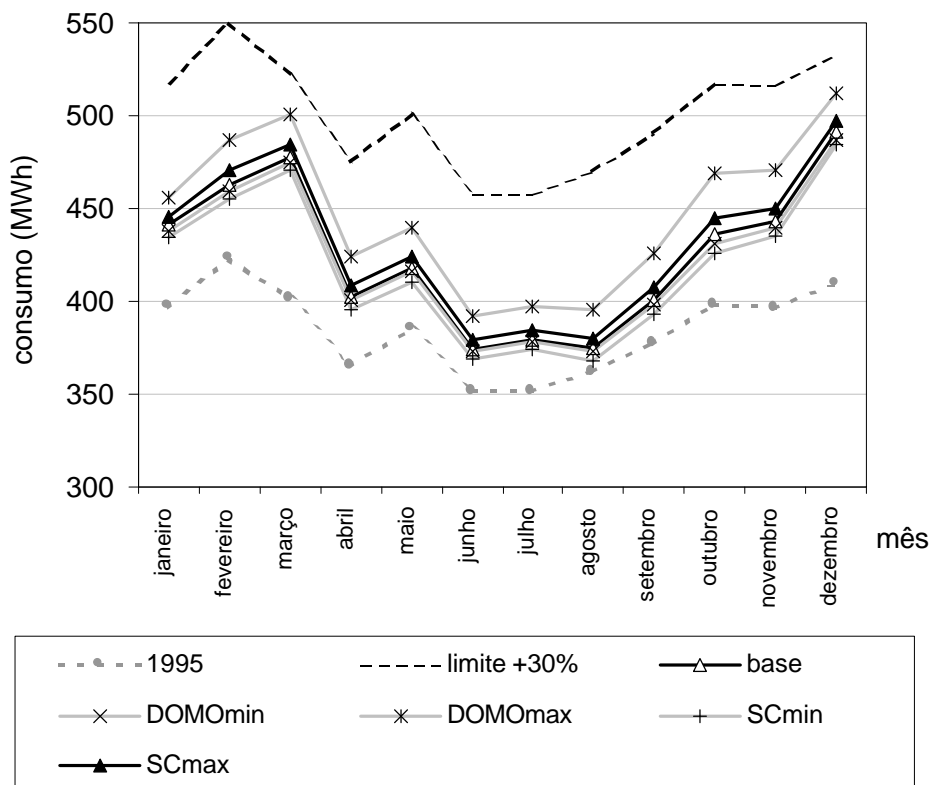


Figura 4.84 - Comparação de consumo de energia mensal para diferentes valores de coeficiente de sombreamento.

A influência das janelas é similar, conforme o gráfico da Figura 4.84. A redução do sombreamento das aberturas verticais tem maior efeito em outubro com 2,4%; sua

média anual é 1,7%, e as cargas térmicas deixam de ser atendidas em apenas 1,3% do período solicitado. O aumento do sombreamento tem maior efeito em outubro, com 2,0%, e média anual de 1,5%; porém as cargas deixam de ser atendidas em 3,0% dos casos (referente ao período de ocupação).

A influência da laje saturada aumenta o consumo anual em 2,6% (apresentada na Figura 4.85), e a maior diferença ocorre em outubro, com 3,6%. As cargas térmicas deixam de ser atendidas 4,6% do período. As demais variáveis, ocupação e infiltração, têm efeitos desprezáveis sobre o modelo. As curvas resultantes são praticamente coincidentes com o modelo base, identificadas na Figura 4.85.

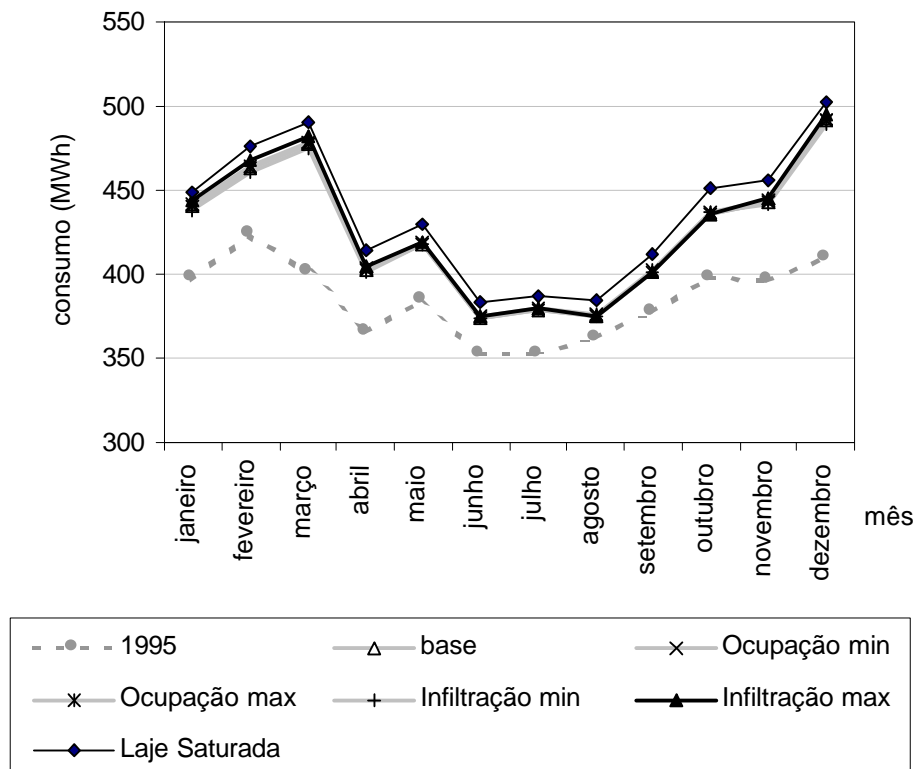


Figura 4.85 - Comparação de consumo de energia mensal para diferentes caracterização de laje, infiltração e metabolismo de ocupantes.

Mais uma vez se confirma a pouca influência do envoltório sobre o consumo de energia da edificação, haja visto o isolamento térmico da laje. Baseado nas duas abordagens que determinaram a sensibilidade da edificação diante das incertezas das variáveis (Grupos I e V), faz-se algumas ressalvas quanto à aplicabilidade do método. A abordagem do Grupo I se baseou num modelo com autodimensionamento do sistema de condicionamento de ar e a do Grupo V empregou um modelo com dimensionamento

fixo. Acredita-se que as mudanças das variáveis dos primeiros modelos repercutem integralmente sobre o consumo de energia, enquanto que os demais modelos têm a tendência de atenuar os efeitos das mudanças das variáveis em situações em que as cargas térmicas ultrapassam a carga de refrigeração disponível. Logo, seus efeitos passariam a ter influência apenas no clima interno e o consumo continuaria imutável.

Dessa forma, há três parâmetros de avaliação da influência das variáveis sobre o modelo final: cargas térmicas mensais, consumo total mensal para modelos com condicionador de ar autodimensionado, e consumo total mensal para modelos com condicionado de ar de capacidade definida. Para avaliar as três abordagens, foram comparadas as diferenças numéricas dos três parâmetros entre o modelo base e o modelo com uma variável alterada. O método foi estendido às variáveis que apresentaram maior influência sobre o último modelo: coeficiente de sombreamento máximo para o domo, coeficiente de sombreamento máximo para as janelas e laje saturada.

A primeira variável analisada é o domo zenital. Conforme a Figura 4.86, os três parâmetros analisados apresentam evoluções semelhantes, entretanto as cargas térmicas têm a tendência de acentuar as diferenças entre os modelos, ainda que pouco variem de um mês para outro; as diferenças oscilam entre 17,0 e 25,0%. As diferenças do modelo com capacidade de condicionador de ar limitado variam mais do que os demais parâmetros, entre 3,4 e 7,6%, porém atenua as diferenças entre os modelos. E o modelo com condicionador de ar autodimensionado tem a tendência de atenuar as diferenças entre os modelos e as evoluções mensais, variam entre 5,6 e 6,3%.

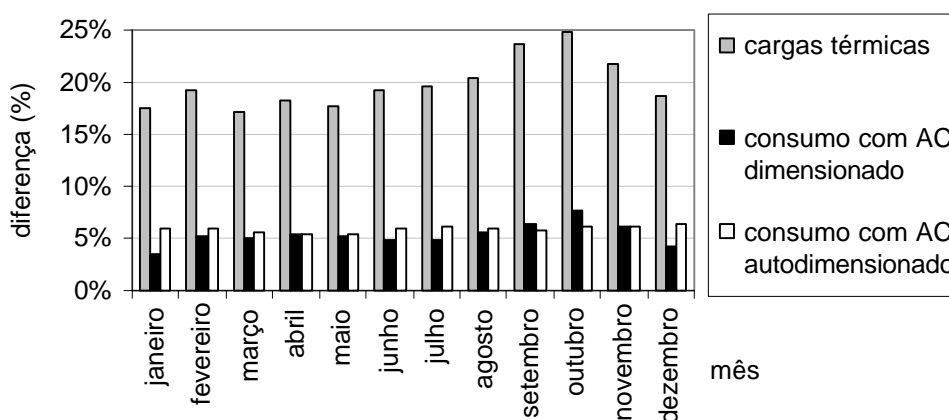


Figura 4.86 - Comparação das diferenças do modelo base e do modelo que emprega coeficiente de sombreamento máximo para o domo zenital.

A análise do coeficiente de sombreamento das janelas evidencia grandes variações de carga térmica (4,7 a 8,8%) e de consumo mensal do modelo com condicionador de ar limitado (1,1 a 2,0%), conforme Figura 4.87. Como essas variações ocorrem em meses diferentes, o acréscimo de carga térmica sobre o consumo de energia tem diferentes efeitos durante o ano. O modelo com condicionador de ar autodimensionado apresentou a tendência de acompanhar a evolução das cargas térmicas, porém variou menos: entre 2,4 e 3,0%.

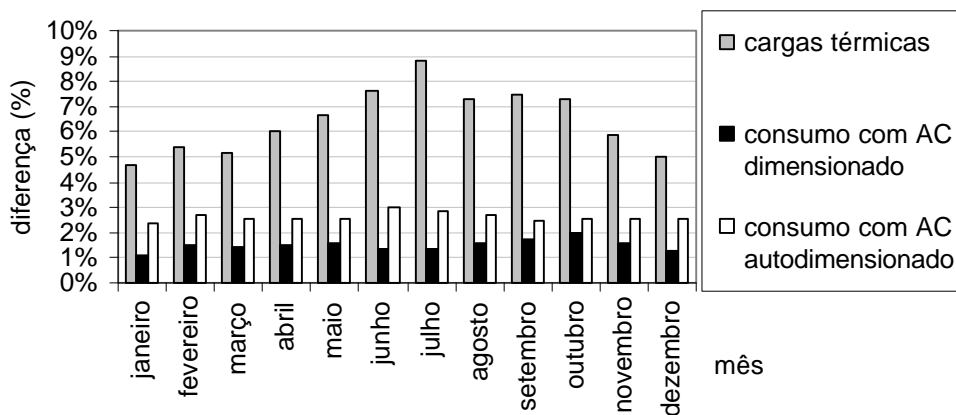


Figura 4.87 - Comparação das diferenças do modelo base e do modelo que emprega coeficiente de sombreamento máximo para as janelas.

A análise da influência da laje saturada, Figura 4.88, demonstra mais uma vez a tendência das cargas térmicas em acentuar as diferenças entre os modelos, apresentando variações entre 9,0 e 13,3%. Ao contrário da variável analisada anteriormente, o modelo com condicionador de ar limitado acompanhou as evoluções das cargas térmicas, enquanto que o modelo com condicionador de ar autodimensionado apresentou as maiores diferenças de consumo nos períodos em que os outros parâmetros pouco variaram.

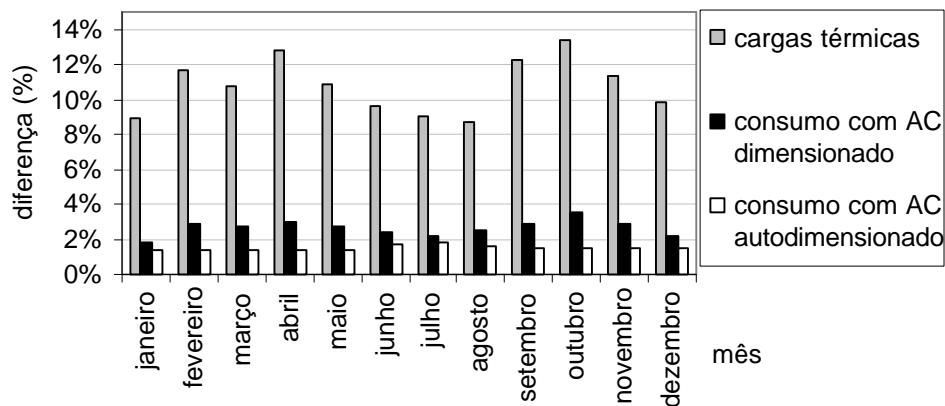


Figura 4.88 - Comparação das diferenças do modelo base e do modelo que emprega laje saturada.

Os resultados apresentados demonstram que o parâmetro empregado na avaliação dos efeitos das variáveis sobre o modelo pode influenciar as análises. Acredita-se que seu efeito cresce à medida que aumenta a defasagem entre as cargas térmicas e a capacidade de refrigeração dos modelos, haja visto que os modelos analisados deixam de atender as cargas térmicas em poucos períodos: entre 2 e 7%.

Diante da pouca sensibilidade do modelo em relação às variáveis analisadas, não é possível atribuir as diferenças entre consumos mensais reais e simulados à nenhuma delas. Ou seja, não se justifica alterar as variáveis do envoltório do último modelo apresentado (ALT-CENT).

4.7. Análise de Uso Final dos Principais Modelos

O principal parâmetro de avaliação da qualidade do modelo gerado é o consumo de energia total mensal. Entretanto um modelo que atende aos requisitos de tolerância pode apresentar perfis de uso final de consumo de energia diferentes da realidade. Neste caso, as avaliações de medidas de redução de consumo de energia ficariam seriamente comprometidas. Para se avaliar a evolução dos perfis de uso final dos modelos gerados ao final de cada grupo de abordagem, são confrontados num único gráfico, apresentado na Figura 4.89, o consumo total anual de energia elétrica de equipamentos e sistema de climatização artificial.

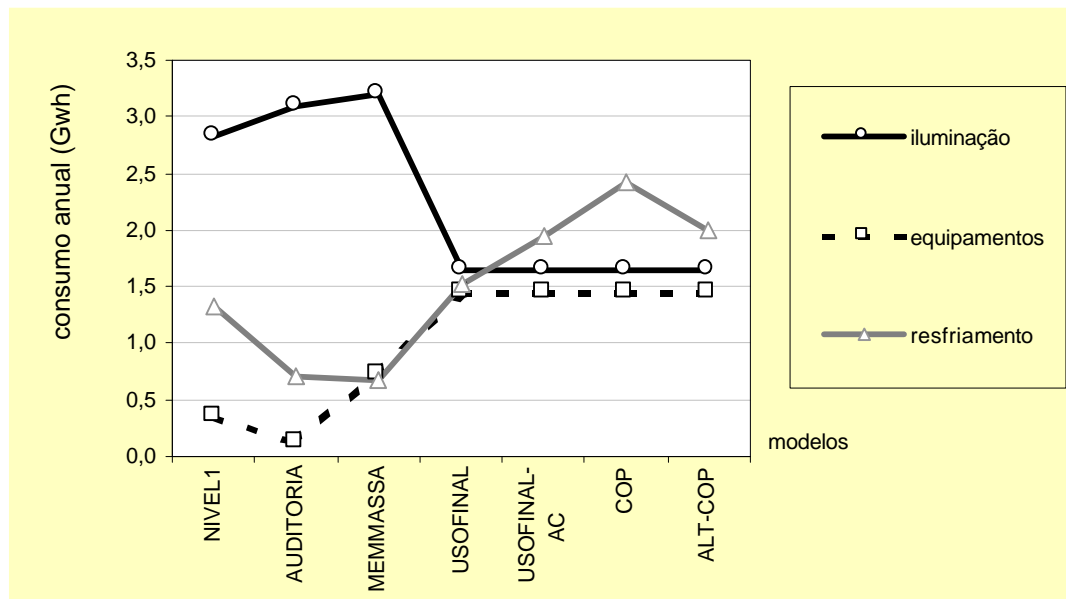


Figura 4.89 - Evolução de uso final de energia elétrica segundo ordem de modelamento.

As principais observações são apresentadas a seguir.

- A. Os perfis de uso final variaram drasticamente até a correção das variáveis baseadas em dados monitorados de uso final. As diferenças entre as participações de iluminação e equipamentos entre o modelo usofinal e os que o antecedem evidenciam equívocos na interpretação das cargas de consumo. A participação do consumo de iluminação foi superestimada em mais de 100%, enquanto que a dos equipamentos foi subestimada até 1.300%.
- B. Os modelos que não tiveram a capacidade do condicionador de ar declarado (NIVEL1 e demais do Grupo I) subestimaram o consumo de energia da climatização artificial, devido ao autodimensionamento.
- C. A declaração da capacidade de refrigeração instalada não influenciou significativamente o consumo de energia enquanto as cargas de iluminação estavam superestimadas e as do equipamentos subestimadas. A medida que as cargas de consumo dos equipamentos foram aumentadas, observou-se uma relação direta com o aumento de consumo do condicionado de ar.
- D. A influência do dimensionamento de equipamentos do sistema de condicionado de ar, como bombas hidráulicas e climatizadores é notória na evolução do modelo USOFINAL para USOFINAL-AC.

4.8. Modelo Sugerido

Às vésperas do encerramento dos trabalhos, durante a formulação de críticas ao trabalho, observou-se uma deficiência no método de caracterização de cargas de consumo da edificação.

Conforme foi apresentado, as técnicas de monitoração das cargas de consumo foram realizadas junto aos transformadores de entrada de energia, haja visto a impossibilidade de medi-las junto às áreas climatizadas e não climatizadas. Logo, a atribuição do consumo por zonas empregou uma consideração quiçá equivocada: as cargas foram divididas proporcionalmente pelas áreas das zonas.

Diante desta dúvida, fez-se um breve levantamento dos equipamentos pertinentes às áreas climatizadas. São 682 microcomputadores e 68 terminais de computadores que funcionam durante o período de ocupação. Considerando que cada microcomputador consome aproximadamente 120 W e cada terminal consome 70 W (consumo de vídeo de microcomputador), estimou-se que juntos consomem 86,6 kW, e que acrescidos com um hipotético valor do CPD de 11 kW, os equipamentos passam a representar 42,1% do consumo total de equipamentos em zonas climatizadas, ao contrário da consideração anterior que implicara numa participação de 85,5%. Esta breve estimativa tem um impacto substancial sobre o modelo anterior, ALT-CENT. Conforme apreciação do gráfico da Figura 4.90, novamente é confirmada a influência da interação das cargas térmicas internas com o sistema de condicionamento de ar. O consumo mensal de energia é reduzido entre 7,8 e 11,5%, com média de 9,7%. Sua comparação com o consumo real de 1995 aponta para uma tendência de evolução do modelo. As diferenças de consumo real e simulado variaram entre -10,5 e 8,3%, e apresentaram uma média de 0,4%.

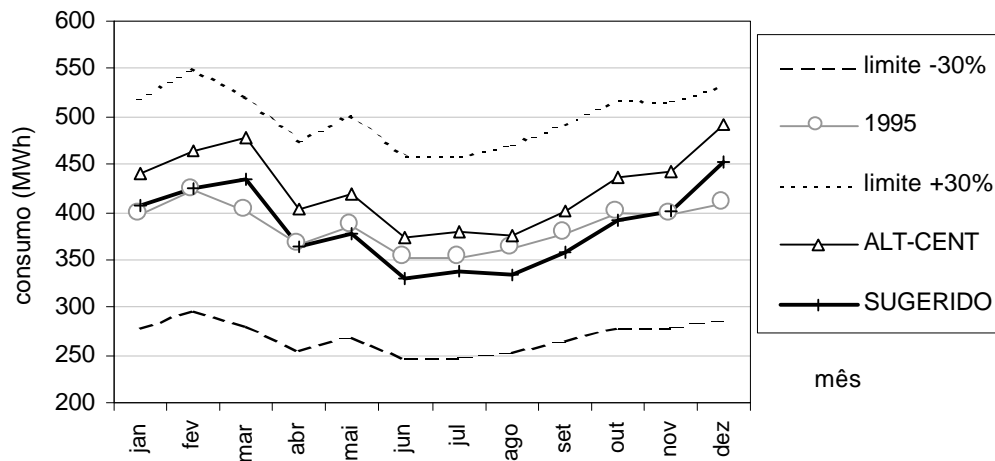


Figura 4.90 - Comportamento do modelo sugerido.

A partir destes resultados, acredita-se que o modelo poderia ser aperfeiçoado através da monitoração de cargas de consumo por uso final em cada zona do edifício. Entretanto, o modelo ainda seria passível de discordâncias para com a realidade devido às variações das rotinas de acionamento do sistema de refrigeração e devido à variação de sua eficiência creditada às fugas de gás refrigerante e deterioração agravada pelo tempo de vida.

5. Conclusões

As conclusões apresentadas a seguir estão ordenadas pelo grupo de abordagem assumido na metodologia. Alguns dos métodos são analisados mais de uma vez, a exemplo da análise de sensibilidade do modelo para com as variáveis que foi executado no Grupo I e Grupo V. Após a análise do último grupo, são apresentadas as conclusões gerais. Ao final, são apresentadas propostas de extensão do trabalho, com o objetivo de aprimoramento dos métodos de calibração de modelos de edificações.

5.1. Grupo I

A influência da caracterização da geometria dos ambientes varia segundo a influência do envoltório sobre o consumo de energia. As estimativas sobre o primeiro modelo apresentaram diferenças inferiores à 6,2% de consumo mensal de energia. Posteriormente observou-se que esta diferença é acentuada em casos que superestimam os ganhos térmicos através de coberturas. A influência da modelagem sobre o caso real analisado é inferior à 1,0%.

O relatório LS-C é a forma mais conveniente para se determinar a contribuição de cada fonte de carga térmica: proporciona um rápido diagnóstico do modelo e se torna mais eficiente à medida que o usuário adquire experiência para analisar a coerência entre os valores para diferentes tipos de edificação.

O relatório LS-F é útil para avaliar a evolução das cargas térmicas mensais durante o ano sob diferentes condições climáticas externas à edificação, a exemplo da laje de cobertura que aquece a edificação no verão e a resfria durante o inverno.

A determinação da sensibilidade do modelo a partir da análise das variáveis se mostrou um processo moroso que se inicia no levantamento das incertezas dos valores atribuídos às variáveis e culmina com a análise de dezenas de relatórios. Demonstrou-se que a sensibilidade do modelo diante das variações assumidas são muito inferiores a 1%, com exceção das cargas estáveis, como iluminação e equipamentos, e das cargas de radiação solar em aberturas, que foram inferiores a 5%. As demais são praticamente desprezáveis. Porém, a execução do método adotou, preferencialmente, as variáveis associadas ao envoltório, que é um pensamento bastante comum entre modeladores. A principal crítica sobre a seleção das variáveis é a omissão das pertinentes aos padrões de uso de cargas declaradas de iluminação, equipamentos e ocupação, haja visto que foi

baseada em observações do responsável pelo preenchimento da planilha, que por sua vez não empregou dados oficiais de ocupação, isto é, emitidos pelo departamento responsável pelo controle da assiduidade dos funcionários.

O emprego de arquivo climático do tipo TRY demonstrou ser plenamente satisfatório nesta fase de correções de variáveis. Análises comparativas entre os consumos mensais de energia do modelo final do Grupo I, simulado com os arquivos TRY e real de 1995 demonstraram diferenças médias de 1,5%. Logo, não se justificaria o levantamento do arquivo real exclusivamente para esse fim. Porém, é necessário alertar que os arquivos se apresentaram similares quanto a comportamento de temperaturas e radiação total horizontal; apenas os dados de radiação solar direta diferiram. Ainda que não seja possível generalizar essas afirmativas para outros estudos, é notória que a aplicabilidade do arquivo TRY está associada à participação dos ganhos térmicos decorrentes de clima e associada também à sua semelhança com o clima do ano simulado.

A ausência de dados de vento do arquivo climático compromete os resultados (8% aproximadamente), sendo que a suspeita recai sobre o coeficiente externo de convecção (de transferência de calor). A forma encontrada de combinação destes dados com o arquivo climático real também é passível de críticas à medida que outras fontes de dados climáticos foram evoluindo durante os trabalhos.

A diferença de estimativa de área da edificação obtida pela planilha de coleta de dados e obtida pelos projetos arquitetônicos foram da ordem de 35%. Ficou patente que a maior causa de discordância entre ambas as formas é a caracterização concomitante do uso das áreas. Enquanto a planilha ignora as características do uso da ocupação e do controle de clima interno, a planta apenas a identifica. Neste caso, designações como garagens, banheiros ou CPD são passíveis de interpretações confiáveis, porém se complica à medida que as referências passam a ser códigos estranhos ao analista. A partir dessa observação, a planilha de coleta de dados foi radicalmente reformulada.

Conforme foi abordado nos dois últimos modelos do grupo (PLANTA-EQ e NIVEL1), a potência declarada foi retificada, considerando-se que apenas uma fração dos equipamentos instalados (obtido de levantamento dos técnicos da Eletrosul) corresponde ao equipamentos ligados. O recurso poderia se estender à correção da iluminação, também. Entretanto, como nenhum destes dados foram levantados, o método buscou aproximar a curva de consumo mensal, sem questionar seu uso final. Essa medida aproximou o modelo dos valores reais sistematicamente, reduzindo o

consumo de energia entre o modelo anterior em média de 22,6% (diferença mínima de 20,6% e máxima de 24,5%), haja visto que se trata de uma carga de caráter constante. Sua aplicação ainda é questionável se não for baseada em dados confiáveis.

A declaração dos dias de medição do consumo de energia mensal (executado pela concessionária), aplicado no NIVEL1, aproxima os resultados da simulação e dos valores reais e deve ser substituído pelos *defaults* aplicados. Ainda que não tenha havido redução das médias de diferenças de consumos mensais, é recomendada sua incorporação nos primeiros modelos devido à disponibilidade dessa informação (é declarada no extrato de consumo).

Confirmou-se algumas tendências decorrentes do método de coleta de dados à distância. Como o modelo é baseado na planilha, depende diretamente do empenho e da competência do funcionário que a preencher. Logo, é necessário conscientizá-lo quanto ao impacto das suas ações.

A demanda não foi empregada na correção dos modelos em virtude da sua pouca contribuição. Devido à sua própria origem, que é antes de tudo um dado de ocorrência de consumo de energia máximo registrado num período de 15 minutos durante o mês, é uma informação especializada demais para o nível de detalhamento do modelo. Isto é, os modelos desta fase não primam por uma boa caracterização de uso final, principalmente do sistema de condicionamento de ar, que é o principal responsável por picos de consumo.

5.2. Grupo II

A abordagem de métodos de calibração de variáveis mediante comparação de dados de consumo horário reais e simulados descarta a comparação com dados de demanda máxima registrada (está implícita nos relatórios de consumo horário).

A visita técnica foi indispensável para a compreensão da edificação: apontou falhas da planilha e permitiu a coleta de informações que o responsável pelo seu preenchimento ignorou ou não teve acesso. Através da auditoria, fez-se uma série de implementações na planilha de coleta de dados. Neste caso específico, a auditoria proporcionou a compreensão de detalhes construtivos, como pés-direito diferenciados, que haviam sido mal interpretados ou ignorados anteriormente. Permitiu a correção das áreas e lhes atribuiu formas de uso e de ocupação. Foram identificados fontes de cargas térmicas como ventiladores de insuflamento e de exaustão em ambientes refrigerados e não refrigerados.

Registrou-se uma relutância por parte dos funcionários em apontar falhas de uso da edificação, ou mesmo em fornecer informações relevantes, porém desconsideradas por eles. Somente através de muitas visitas e aproximações a profissionais de diferentes áreas de atuação foi possível selecionar as informações e aplicá-las sobre o modelo. Esta característica se estende principalmente ao acionamento do sistema de climatização artificial.

A monitoração da temperatura de bulbo seco interna permitiu corrigir os valores de temperatura de controle do condicionador de ar facilmente através da instalação de sensores JR. Ainda que não tenha influenciado os resultados de consumo após a correção do modelo devido à pouca diferença em relação ao valor assumido nos modelos anteriores, apresentou um grande potencial de ajuste das variáveis de padrões de temperaturas de controle. Estimativas obtidas da simulação dos modelos demonstraram que o aumento de $0,1^{\circ}\text{C}$ da temperatura de regulação interna do termostato reduz 1% do consumo médio de energia elétrica mensal. Também foi possível observar que as áreas que receberam reclamações de desconforto apresentaram um controle de temperatura interna uniforme e abaixo das temperaturas médias de outros ambientes analisados (nos meses analisados: outubro e novembro). Este comportamento associado à orientação da fachada (orientação norte) denota falta de controle de outras variáveis associadas às condições de conforto térmico (como radiação térmica assimétrica). Ao final das medições, concluiu-se que as áreas monitoradas realmente possuíam semelhanças de comportamento térmico e que as generalizações que as consideraram iguais estavam corretas.

Os dados de memória de massa são eficazes na avaliação dos usos horário diário e semanal porque permitem avaliar a frequência com que se repetem; apontam tendências como menor consumo entre feriados e usos esporádicos, a exemplo de um curso realizado no sábado. São extremamente compatíveis com o método de geração de padrões de uso orientado pelos manuais do DOE-2.

A comparação entre dados horários de consumo de energia total simulados e reais contribui diretamente na correção dos padrões de uso horários principalmente nos períodos em que não se tem acesso à edificação. É aconselhável atribuir as correções dos perfis de consumo horários preferencialmente a equipamentos. Iluminação e condicionador de ar também são passíveis de correções, porém estes são mais fáceis de se identificar em funcionamento, enquanto que os equipamentos são uma incógnita da modelagem; são de difícil determinação devido ao grande número e variedade e devido

ao funcionamento discreto de alguns, como bombas hidráulicas de recalque. Estas características se fizeram presentes principalmente na constatação de cargas de consumo em períodos sem ocupação do edifício que foram subestimadas. Da mesma forma, as cargas de consumo modeladas nos períodos de ocupação haviam sido superestimadas. Esta medida também refletiu sobre as cargas de consumo do condicionador de ar devido à redução das cargas internas durante seu funcionamento, aproximando ainda mais a performance do modelo para com o caso real.

5.3.Grupo III

A monitoração do uso final das cargas de consumo próximo à subestação de entrada de energia elétrica demonstrou ter um grande potencial de uso. Evidenciou-se que o seu desempenho está associado à configuração do sistema de distribuição de energia elétrica interna, à forma de acionamento das cargas e à quantidade de equipamentos de medição disponível. É através da combinação destes três fatores que o projeto de monitoração se estrutura. O sistema de distribuição deve proporcionar pontos que isolem determinados tipos de cargas de consumo, como as de iluminação, de equipamentos e de condicionador de ar. Os acionamentos das cargas devem ter uma ordem de acionamento para permitir uma interpretação das curvas de consumo medidas, principalmente quando as cargas se misturarem. Quanto maior o número de equipamentos de monitoração disponíveis, mais representativas são as avaliações porque diferentes tipos de cargas em diferentes pontos da linha de distribuição de energia poderão ser monitoradas concomitantemente, gerando dados cada vez mais especializados.

A medição da corrente elétrica aparente na entrada dos equipamentos complementa a abordagem anterior, principalmente porque auxilia a separação de cargas de consumo. É um método eficiente para a caracterização de equipamentos a medida que estes sejam representativos. É recomendado principalmente para caracterização de cargas de consumo de equipamentos do SYSTEMS e do PLANT.

As variáveis que se declaram em padrões de uso (equipamentos e iluminação) e as que caracterizam tamanho e performance de equipamentos (bombas hidráulicas e climatizadores) devem ser corrigidas para garantir a performance do modelo. Esta abordagem evidenciou a tendência de subdimensionamento das cargas do SYSTEMS e do PLANT, quando estas não forem declaradas no modelo.

5.4. Grupo IV

O procedimento de monitoração de temperatura dos circuitos de água dos resfriadores é prático e eficiente. Porém, carece de melhoramentos da qualidade dos sinais dos termopares e do contato entre a ponta do termopar e o duto de água.

Os equipamentos do tipo RE1000 se mostraram mais adequados à monitoração do que o SmartReader3 devido à robustez e variáveis monitoradas (tensão, corrente e fator de carga).

Não é possível avaliar as variações entre temperatura, potência e eficiência, sem dispor das variações de vazão.

A combinação de fatores como a impossibilidade de medição direta da vazão de água gelada e o funcionamento irregular do resfriador do tipo centrífugo 2 comprometeram ainda mais as análises. Logo, a estimativa de vazão é ainda mais crítica à medida que o sistema destoa das características de projeto.

Como as informações geradas pelo sistema são restritas às temperaturas de entrada e saída de água de condensação e água gelada e sua monitoração pelos técnicos não é contínua, é natural que os acionamentos dos equipamentos não sejam otimizados.

As rotinas de acionamento dos equipamentos exercem uma grande influência sobre a eficiência geral do sistema. Ao mesmo tempo que permitem reduzir o consumo de energia mediante alterações das rotinas originais, também sacrificam as condições predeterminadas de controle do clima interno.

A exemplo do modelo que emprega apenas um resfriador do tipo centrífugo e um do tipo alternativo (modelo *chiller+cent1*), o subdimensionamento do sistema tem um efeito notável sobre a redução do consumo de energia: 6,4% do consumo médio de energia, atingindo até 16,5% nos períodos quentes. Além de poupar energia porque não atende a carga térmica de pico, sua economia também decorre da própria curva de eficiência do equipamento, ainda mais porque o equipamento passa a trabalhar mais tempo em condições de maior eficiência.

5.5. Grupo V

A execução dos testes térmicos sobre a edificação estão limitados sobretudo às condições climáticas e a estimativa de capacidade de refrigeração dos refrigeradores de líquidos. Sua execução deve ser justificada pela influência do envoltório e baseada em simulações paramétricas dos últimos modelos.

Baseado na evolução das cargas térmicas mensais e dos consumos mensais de energia, o envoltório da edificação analisada tem pouca influência sobre o comportamento geral da edificação (inferior a 5%, para casos críticos como laje saturada), principalmente quando comparado com as demais variáveis, como rotinas de uso e eficiências do sistema de refrigeração.

O parâmetro usado na análise da influência das variáveis sobre o modelo deve ser empregado com critério porque também influencia a avaliação.

A análise das influências das variáveis de entrada a partir da evolução do consumo total de energia em modelos com sistema de climatização artificial dimensionado é apropriada para situações em que se deseja manter o sistema de condicionamento de ar original, ainda que em detrimento das condições de conforto térmico internas. Neste caso, o DOE-2 emite relatórios estatísticos correspondente ao período que o equipamento não manteve o controle da temperatura interna.

A análise das influências das variáveis de entrada a partir da evolução das cargas térmicas calculadas pelo LOADS acentuam as diferenças entre os valores mínimo e máximo. Nem sempre reproduzem a tendência de consumo de energia e seu uso não é adequado devido à interação das cargas com o sistema de refrigeração, principalmente para os casos que o condicionador de ar não é passível de mudanças.

A melhor forma de se avaliar a sensibilidade da edificação é introduzir o comando de auto-dimensionamento do sistema de climatização. A partir das performances obtidas, é possível escolher a configuração com maior desempenho e, conseqüentemente, adequar um equipamento que atenda as curvas de demanda de refrigeração.

5.6. Conclusões Gerais

A análise de sensibilidade das variáveis dos primeiros modelos deve ser realizada com rotinas de autodimensionamento do sistema de climatização artificial.

As temperaturas internas devem ser monitoradas em períodos críticos de ganho de carga térmica, principalmente quando há alta incidência de radiação solar em aberturas.

Há uma grande variação dos perfis de consumo de energia por uso final. Os modelos que não empregam correções baseados em dados de consumo de energia por uso final comprometem radicalmente as análises de redução de consumo de energia. As estimativas freqüentemente diferem em mais de 100% do valor real.

Os modelos que não tiveram a capacidade do condicionador de ar declarado subestimaram o consumo de energia da climatização artificial.

A influência do dimensionamento de equipamentos do sistema de condicionamento de ar, como bombas hidráulicas e climatizadores é significativa; aumenta o consumo médio mensal em até 9,0%.

Os padrões de acionamento de cargas de consumo têm influência notável sobre o consumo de energia. Entretanto, sua modelagem se torna mais complexa à medida que as rotinas são desrespeitadas.

O levantamento de dados junto aos funcionários é considerado por eles como uma avaliação da qualidade de seus trabalhos. Logo, rotinas e equipamentos que desrespeitam as condições regulares de funcionamento são freqüentemente mascaradas.

A monitoração das cargas de consumo deve ser realizada preferencialmente junto às áreas zoneadas pelo modelo para prover uma caracterização adequada das cargas térmicas estáveis. Logo, a monitoração próxima à subestação de entrada de energia é mais adequada à medida que os ambientes se apresentem mais semelhantes entre si.

A monitoração das cargas de energia na entrada da edificação deve ser compensada por um apurado levantamento das cargas de equipamentos e de iluminação das diferentes zonas para proporcionar uma caracterização adequada das suas formas de uso.

Conclui-se que todos os métodos apresentados contribuem para a modelagem da edificação, desde que seja respeitada a ordem de abordagem, revista a seguir.

- A) Preenchimento da planilha de coleta de dados (apresentada no ANEXO H) e análise de sensibilidade do modelo. Cumpre a função de orientar a caracterização da edificação (da geometria dos ambientes ao tipo de sistema de climatização artificial) e auxilia a identificação das variáveis mais influentes.
- B) Auditoria. Confirma os dados de planilhas em campo, executa levantamento das condições climáticas internas, e questiona diferentes funcionários quanto aos padrões de uso.
- C) Levantamento de histórico de contas de energia. Deve apresentar dados do consumo de energia mensal do ano simulado, até os últimos meses medidos. São usados para calibrar o modelo, para evidenciar a regularidade do uso da edificação e para validar o período analisado como representativo.

- D) Levantamento de memória de massa. São importantes para as primeiras estimativas de padrões de uso de equipamentos, de iluminação e de condicionador de ar. São necessários dados de meses completos e recentes em que o condicionado de ar tenha trabalhado em carga total (preferencialmente entre novembro e março).
- E) Monitoração de consumo de energia por uso final (iluminação, equipamentos e condicionador de ar). É realizada preferencialmente através de medição direta nos ramais da rede elétrica interna, junto aos ambientes. Para situações em que não há disponibilidade de equipamentos de medição de cargas elétricas, a caracterização das cargas instaladas de iluminação, de equipamentos, de *fan-coils* e de bombas hidráulicas do condicionador de ar pode ser obtida da memória de massa emitida pela concessionária, desde que se programe o acionamento destas cargas isoladamente, ou seja, num determinado dia (preferencialmente um sábado ou domingo), acione durante meia hora (para dados de memória de massa em intervalos de 15 minutos) somente as cargas de iluminação. Repita o mesmo procedimento para as demais cargas, uma por vez e anote os horários de cada ação. As cargas serão identificadas no relatório de memória de massa.
- F) Medição da eficiência dos resfriadores de líquido. A influência da eficiência dos resfriadores de líquido sobre o modelo final deve ser avaliada através de simulações paramétricas, adotando-se uma faixa de valores possíveis. A partir dos resultados obtidos, avalia-se os ônus e os benefícios da sua medição em campo.

5.7. Sugestões para Trabalhos Futuros

A sensibilidade do modelo PLANILHA-LAJE em relação aos dados de vento evidenciou variações de até 8% do consumo mensal de energia. Aconselha-se seu levantamento em diferentes lugares de Florianópolis, para analisar sua variação no arquivo climático, e sua influência na avaliação do comportamento de edificações.

Haja visto o grau de comprometimento dos dados do arquivo climático empregados, sugere-se estender a análise para os seguintes casos:

- simulação de outros anos climáticos, como 1996 e 1997, mediante criação de arquivo climático e comparação com dados de consumo de energia destes anos;
- determinação da influência do arquivo climático sobre diferentes tipos de edificações diferenciadas pela sensibilidade em relação ao clima, a exemplo de edificações com predominância de cargas térmicas internas e outras com predominância de cargas térmicas de radiação solar;

- levantamento de métodos e geração de algoritmos para tratamentos e correções dos dados climáticos de diferentes origens, com opções na própria interface;
- consolidação de uma fonte de dados climáticos, haja visto os obstáculos encontrados no desenvolvimento dos trabalhos.

A caracterização do sistema de climatização e principalmente da eficiência dos resfriadores exercem uma influência inquestionável sobre o modelo e sobre o consumo de energia da edificação. Da mesma forma que ficou evidente que sua determinação em campo deve ser aprimorada, vislumbra-se diversas opções de trabalho:

- comparação de métodos de determinação de fluxo de água de resfriadores, a partir de custo de aplicação e qualidade de resultados gerados;
- levantamento de biblioteca de curvas de eficiência de diferentes resfriadores em diferentes estados de conservação;
- determinação da eficiência do sistema de climatização global, como perdas atribuídas às linhas de distribuição de água gelada e eficiências de climatizadores do tipo *fan-coil*;
- determinação de métodos de otimização de eficiência de sistemas de refrigeração.

Como os resultados apresentados estão associados à edificação analisada, recomenda-se estender a aplicação de alguns dos métodos abordados à edificação diferentes quanto ao uso e características do envoltório.

E por fim, como elemento chave continua sendo o modelador, devem ser pesquisados recursos que otimizem a interface entre o edifício modelado e o modelo do programa.

6. Bibliografia

- ABREU, P.F. (1986). *Um Modelo para a Simulação do Comportamento Térmico de Edificações*. Florianópolis. Dissertação de Mestrado, Vol, I e II, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina.
- AKBARI, H.; SEZGEN, O. (1992). *Analysis of energy Use in building services of the industrial sector in california: two cases studies*. *Energy and Building.*, v. 19, N2, p.133-141.
- ALEREZA, T.; DOHRMANN, D. R.; MARTINEZ, M.; MORT, D. (1990). *End-use metered data for commercial buildings*. *ASHRAE Transactions*. v. 90(3), pp.1004-1010.
- ASHRAE APPLICATIONS HANDBOOK(SI) (1995). *Building Energy Monitoring*. U.S.A., v37, p.37.1/37.14.
- ASHRAE HANDBOOK HVAC APPLICATIONS (1991). *Computer Applications Chapter*. U.S.A., v36, p.36./36.5.
- BEYENE, A.; GUVEN, H.; JAWDAT, A.; LOWREY, P. (1994). *Conventional chiller performances simulation and field data*. *International Journal of Energy Reseach*, vol.18, 391-399.
- BIRDSALL, B. E.; BUHL, W. F.; ELLINGTON, K. L.; ERDEM, A. E.; WINKELMANN, F. C. (1994). *DOE-2 BASICS, version 2.1E*, Energy and Environment Division. Lawrence Berkely Laboratoru. University of California, Berkeley, CA.
- BRAUN, J. E.; MITCHELL, J. W.; KLEIN, S. A. (1987). *Performance and control characteristics of a large cooling SYSTEMS*. *ASHRAE Transaction 1987*, vol.03, part.1.
- BRONSON, D.J.; HINCHEY, S.B.; HABERL, J.S.; O'NEAL, D.L. (1992). *A procedure for calibrating the DOE-2 simulation program to non-weather-dependent measured loads*. *ASHRAE Transactions* 98(1).
- BULLA, L. A. S. (1995). *Análise paramétrica do desempenho termo-energético de um edifício de escritórios*. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

- CLARIDGE, E. E.; HABERL, J. S.; SPARKS, R. J. (1992). *Monitored commercial building energy data: reporting the results*. ASHRAE Transactions., Vol.92, Pt.1, pp.881-889.
- CLEARY, C. M.; SCHULDT, M. A. (1989). *Predict actual conservation oportunities in commercial buildings: lessons learned from measured energy performance*. ASHRAE Transactions.
- CREDER, H. (1991). *Instalações Elétricas*. 12^o edição - Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora.
- CORSON, G. C. (1992). *Input-output sensitivity of building energy simulations*. ASHRAE Transactions: Symposia., v.92(1), p.618-626.
- CRONW, S. W.; PATE, M. B.; SHAPIRO, H. N. (1993). *A method to account for energy conservation measure interaction*. ASHRAE Transactions: Research., U.S.A., Part I. p.201/206.
- DERINGER, J. J.; BUSCH, J. F. (1992). *ASEAN USAID - Buildings Energy Conservation Project - Final Report.*, V. I: Energy Standards.
- ELETOBRÁS: BOLETIM DE MERCADO E CARGA PRÓPRIA (fevereiro de 1996). *Centrais Elétricas Brasileiras S.A.*: código: 0348-0006.
- ELETOBRÁS/PROCEL Copyright © 1996. Home page:
<http://www.embratel.net.br/infoserv/eletrobr/procel/procel.htm>. Desenvolvido por Goldbach, Ricardo A - Consultoria de Informática. Última atualização em 25 de março de 1996.
- ELETROSUL, GRUPO COORDENADOR DO PLANEJAMENTO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS (fevereiro de 1996). *Relatório síntese do acompanhamento de mercado - 1995. Região Sul mais Enersul*.
- GELLER, H.S. (1990). *Efficient Electricity Use: a Development Strategy for Brazil*. Washington D.C.: American Council for Energy-Efficient Economy.
- GOULART, S. V. G.. (1993). *Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis*. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina.
- GREELY, K. M.; RANDOLPH, J.; HILL, W. W. (1986). "Using short term monitoring to improve Virginia's weatherization program". ASHRAE Transactions: Symposia.: V.92(1), Pt.1, p.853-864.

- HABERL, J.S.; MACDONALD, M.; EDEN, A. (1988). *An overview of 3-D graphical analysis using DOE-2 hourly simulation data*. ASHRAE Transaction. V.94(1), p.212-227.
- HABERL, J. S.; KOMOR, S. (1990a). *Improving energy audits: How annual and monthly consumption data can help*. ASHRAE Journal: ago, p.26-33.
- HABERL, J. S.; KOMOR, S. (1990b). *Improving energy audits: How daily and hourly consumption data can help*. ASHRAE Journal: set, p.26-36.
- HABERL, J. S.; BRONSON, J. D.; HINCHEY, S. B.; O'NEAL, D. L. (1993). *Graphical tools to help calibrate the DOE-2 simulation program*. ASHRAE Journal, January: p.27-32.
- HAWES, D. W.; FELDEMAN, D.; BANN, D. (1993). *Latent Storage in Building Materials*. Energy and Buildings.: 2a. p.68-77.
- HUANG, Y. J.; HANFORD, J. W.; PIRAINO, M., (1993). *The impact of variations in building parameters and operating conditions on commercial building energy use and load shapes*. Third International Conference Building Simulation'93. : p.215-222, Australia, ago.
- KAPLAN ENGINEERING, PORTLAND ENERGY CONSERVATION INC. (1991). *Energy Edge Modelers Guidelines Report*. U.S.A.,.
- KAPLAN ENGINEERING, PORTLAND ENERGY CONSERVATION INC. (1992) *Energy Edge Simulation Tuning Methodologies*. U.S.A.
- KAPLAN, M. B.; MCFERRAN, J.; JANSEN, J.; PRATT, R. (1990). *Reconciliation of a DOE 2.1C model with monitored end-use data form a small office building*. ASHRAE Transactions: V.96(1), p.981-993.
- KATS, G. H.; ROSENFELD, A. H.; MCINTOSH, T. A.; MCGARAGHAN, S. A. (1996). *Energy efficiency as a commodity: The emergence of an efficiency secondary market for savings in commercial buildings*. 1996 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings Proceedings, Panel 5, "Commercial Buildings: Program Design, Implementation, and Marketplace Issues.": p 5.111-5.122.
- KORAN, W.E.; KAPLAN, M.B.; STEELE, T. (1992). *DOE-2.1C model calibration with short-term tests versus calibration with long-term monitored data*. Commercial performance measurement and analysis. Proceedings of the ACEEE 1992 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. Berkeley, CA: American Council for an Energy-Efficient Economy.

- KORAN, W. E.; KAPLAN, M. B.; STEELE, T. (1993). *Two DOE-2.1C model calibration methods*. ASHRAE Special Publications. Thermal Performance of the Exterior envoltórias of Buidings. U.S.A.: p. 3/10.
- LAMBERTS, R.; GÓMEZ, L.A.; SIGNOR,R. (1994). *Comparação de Resultados de Simulação com o Consumo Energético Medido num Edifício de Escritórios*. Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis.
- LAMBERTS, R.; LOMARDO, L.L.B.; AGUIAR, J.C.; THOMÉ, M.R.V. (1996). *Eficiência Energética em Edificações: Estado da Arte*. Procel., Rio de Janeiro: março.
- MATOS, G. G. de. (1994). *Infra -Estrutura: Conservar dá a maior energia*. Revista CNI: p.18-19, São Paulo, julho.
- MAHONE, D. E.; KRISHNAMURTI, S.; ALEREZA, T.; JOHNSON, J. (1986). *Nonresidential energy standards confidence and sensitivity analysis*. ASHRAE Transactions: Symposia.: v.92(1), Pt.1, p.627-635.
- RADFORDD, A.D. (1993). *A view of building performance simulation*. Third International Conference Building Simulation'93, Adelaide, Australia, agosto, p.1-7.
- SHAVIV,E.;CAPELUTO, I.G. (1986). *The relative importance of various geometrical design parameters in a hour, humid climate*. ASHRAE Transactions: Symposia.: v.92(1), Pt.1, p.589-605.
- SOUZA, M. B. de. (1995). *Impacto da luz natural no consumo de energia elétrica em um edifício de escritórios em Florianópolis*. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina.
- STETIU, C. *The effect of simplifying the building description on the numerical modelling of Its thermal performance*. USA, 1993. Dissertação de Mestrado - Lawrence Berkeley Laboratory, University of California.
- SUBBARAO, K.; BURCH, C.; HANCOCK, C.E.; LEKOV, A.; BALCOMB, J.D. (1990). *Measuring the energy performance of building through short-term tests*. Proceedings form the ACEEE 1990 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. Washington, DC: v.10:10.245-10.252.
- THE PASSIS PROJECT (1994). *Validation of building energy simulation programs, part I*. Research Report of the Subgroup Model Validation and Development.

- TOLEDO, L. M. A. (1995). *Uso de energia elétrica em edifícios públicos e comerciais de Florianópolis*. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- WALTZ, J.P. (1986). *Practical experience in achieving high levels of accuracy in energy simulations of existing buildings*. *ASHRAE Transactions: Symposia*: v.92(1), p.606-617.
- WANG, V.T. (1988). *Case Study of a Commercial Conservatio Retrofit: Measured Results from a Grocery Store*. *ASHRAE Transactions: Research*, U.S.A..
- WINKELMANN, F. C.; BIRDSALL, B. E.; BUHL, W. F.; ELLINGTON, K. L.; ERDEM, A. E. (1993). *DOE-2 Supplement, v. I, version 2.1E*, Energy and Environment Division. Lawrence Berkeley Laboratory. University of California, Berkeley, CA.
- WINKELMANN, F. C.; BIRDSALL, B. E.; BUHL, W. F.; ELLINGTON, K. L.; ERDEM, A. E. (1993). *DOE-2 Supplement, v.II, version 2.1E*, Energy and Environment Division. Lawrence Berkeley Laboratoru. University of California, Berkeley, CA.
- ZMEUREANU, R.; PASQUALETTO, L.; BILAS, F. (1995). Comparison of cost and energy savings in an existing large building as predict by three simulation programs. 4th International Conference Proceedings, Madison, WZ, USA: p. 14-16.

ANEXO A- Planilha do DOE-2.1E

IDENTIFICAÇÃO

Nome da Edificação:			
Cidade/Estado	Altura do lugar	Latitude/Longitude	número de andares:
/	m	/	

Preencha os dados referentes às dimensões da edificação, sendo que:

- o observador deve se colocar à frente da edificação para identificar as paredes laterais;
- deve se estimar valores médios entre os andares, do segundo ao penúltimo.

	primeiro andar	média do segundo ao penúltimo andares	último andar
área do andar (m ²)			
altura do pé-direito (m)			
parede da frente			
área (m ²)			
área envidraçada (m ²)			
orientação da bússola (graus)			
obstáculo mais próximo			
distância/altura/largura (m)	___ / ___ / ___	___ / ___ / ___	___ / ___ / ___
parede dos fundos			
área (m ²)			
área envidraçada (m ²)			
orientação da bússola (graus)			
obstáculo mais próximo			
distância/altura/largura (m)	___ / ___ / ___	___ / ___ / ___	___ / ___ / ___
parede lateral esquerda			
área (m ²)			
área envidraçada (m ²)			
orientação da bússola (graus)			
obstáculo mais próximo			
distância/altura/largura (m)	___ / ___ / ___	___ / ___ / ___	___ / ___ / ___
parede lateral direita			
área (m ²)			
área envidraçada (m ²)			
orientação da bússola (graus)			
obstáculo mais próximo			
distância/altura/largura (m)	___ / ___ / ___	___ / ___ / ___	___ / ___ / ___

CARACTERIZAÇÃO DE PADRÕES DE USO

ocupação máxima de pessoas na edificação	peessoas
*número máximo de pessoas que podem ser computadas na edificação durante 1 hora.	

TIPIFICAÇÃO DE USO HORÁRIO

Preencha o quadro abaixo para uma semana típica de funcionamento, empregando valores percentuais, em relação ao valor de ocupação máxima.

Ex: supondo que o valor acima para ocupação máxima seja 10 pessoas, e que nas segundas-feiras, entre 9 e 10 horas, a edificação tenha uma ocupação média de 5 pessoas, o valor de preenchimento para as 10:00 horas deve ser 50%.

ocupação percentual para horas do dia (%)							
horas do dia	dia da semana						
	segunda-feira	terça-feira	quarta-feira	quinta-feira	sexta-feira	sábado	domingo
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							

TIPIFICAÇÃO DE USO ANUAL

Preencha com um **X** as semanas que apresentam ocupação típica (igual à semana do quadro anterior).

Preencha com um **0** as semanas que não apresentam qualquer tipo de atividade (recesso, férias, etc).

Para **semanas atípicas**, coloque o **valor percentual** de ocupação em relação à semana típica.

semana	jan	fev	mar	abril	maio	jun	julho	ago	set	out	nov	dez
1 ^a												
2 ^a												
3 ^a												
4 ^a												

CARGA DE LUMINÁRIAS	POTÊNCIA (W)	número de		número de
	total instalada	total utilizada	reatores por luminárias	lâmpadas por luminária
fluorescente suspensa				
fluorescente embutida sem ventilação				
fluorescente embutida com ventilação				
incandescente				

equipamentos geradores de calor equipamentos elétricos, fogões, frigobar, etc	potência consumida (W)	quantidade	período médio de uso diário (horas)

AR CONDICIONADO

temperatura de ajuste do termostato _____ °C	hora que se liga o ar condicionado _____:____ horas	hora que se desliga o ar condicionado _____:____ horas
---	--	---

Preencha as tabelas segundo a disponibilidade do ar condicionado.

ar condicionado exclusivo para o ambiente

obs: ar de janela, self, splits, fan-coil

tipo/modelo	quantidade	capac. refrig. (Btu/h)	consumo (W)	marca	intervalo de manutenção
					_____ meses
					_____ meses
					_____ meses
					_____ meses

ar condicionado dividido com outros ambientes

obs: a ligação é do ar climatizado com os ambientes é feita através de rede de

tipo de ar condicionado	vazão de ar total para o ambiente	identificação (código)	capac.de refrig. (Btu/h)	consumo (W)	marca	intervalo de manutenção

taxa de renovação de ar externo:	_____		m ³ /hora volumes/hora
volume de ar variável?	NÃO	SIM	
uso de aquecimento no inverno? Temperatura do termostato: _____ °C Potência: _____ KW	NÃO	ciclo reverso (bomba de calor) resistência elétrica à gás	
uso de chiller ?marca: _____ modelo: _____	NÃO	Sim/Características _____ _____ _____	
uso de centrífugas ? marca: _____ modelo: _____	NÃO	Sim/Características _____ _____ _____	
uso de torre de arrefecimento? marca: _____ modelo: _____	NÃO	Sim/Características _____ _____ _____	

_____ de _____ de 199__

_____ técnico responsável pelo preenchimento

ANEXO B - Relatório LS-C (último modelo)

REPORT- LS-C BUILDING PEAK LOAD COMPONENTS

WEATHER FILE- Flop95 (base)-Solar

*** BUILDING ***

FLOOR	AREA	322520	SQFT	29962	SQMT		
VOLUME		4250019	CUFT	120361	CUMT		
		COOLING LOAD			HEATING LOAD		
		=====			=====		
TIME		DEC 19	4PM		JUN 27	6AM	
DRY-BULB TEMP		97F	36C		42F	6C	
WET-BULB TEMP		73F	23C		41F	5C	
		SENSIBLE		LATENT		SENSIBLE	
		(KBTU/H)	(KW)	(KBTU/H)	(KW)	(KBTU/H)	(KW)
		-----	-----	-----	-----	-----	-----
WALL CONDUCTION	158.593	46.468	0.000	0.000	-108.856	-31.895	
ROOF CONDUCTION	267.093	78.258	0.000	0.000	-197.537	-57.878	
WINDOW GLASS+FRM COND	1321.886	387.313	0.000	0.000	-1554.363	-455.428	
WINDOW GLASS SOLAR	2254.694	660.625	0.000	0.000	214.190	62.758	
DOOR CONDUCTION	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
INTERNAL SURFACE COND	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
UNDERGROUND SURF COND	215.504	63.143	0.000	0.000	-321.297	-94.140	
OCCUPANTS TO SPACE	336.442	98.578	298.720	87.525	37.032	10.850	
LIGHT TO SPACE	1261.117	369.507	0.000	0.000	75.518	22.127	
EQUIPMENT TO SPACE	753.436	220.757	0.000	0.000	195.088	57.161	
PROCESS TO SPACE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
INFILTRATION	688.848	201.832	363.010	106.362	-96.815	-28.367	
TOTAL	7257.615	2126.481	661.730	193.887	-1757.040	-514.813	
TOTAL LOAD	7919.345	KBTU/H		2320.368	KW		
TOTAL LOAD / AREA	24.55	BTU/H.SQFT		77.441	W /SQMT		

ANEXO C - Relatório de Saída LS-F (último modelo)

1 ELETROSUL, ultimo modelo

DOE-2.1E-001 Tue Jun 3 10:24:54 1997LDL RUN 1

REPORT- LS-F BUILDING MONTHLY LOAD COMPONENTS IN MWH

WEATHER FILE- Flop95 (base)-Solar

(UNITS= MWH)	WALLS	ROOFS	INT SUR	UND SUR	INFIL	WIN CON	WIN SOL	OCCUP	LIGHTS	EQUIP	SOURCE	TOTAL
JAN	HEATNG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	SEN CL	19.726	60.240	0.000	75.164	16.707	54.982	282.376	23.038	136.330	99.133	767.696
	LAT CL				47.285			17.846		0.000	0.000	65.131
FEB	HEATNG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	SEN CL	14.941	43.632	0.000	22.540	11.499	10.486	237.524	21.000	123.805	89.724	575.149
	LAT CL				40.106			16.147		0.000	0.000	56.253
MAR	HEATNG	-0.002	0.030	0.000	0.000	-0.002	-0.311	0.169	0.003	0.017	0.062	-0.034
	SEN CL	14.502	39.353	0.000	43.500	12.491	11.820	231.332	24.131	142.020	100.221	619.369
	LAT CL				41.964			18.691		0.000	0.000	60.656
APR	HEATNG	-0.199	-0.085	0.000	0.047	-0.106	-7.647	3.289	0.162	0.850	1.462	-2.227
	SEN CL	9.177	12.874	0.000	5.039	4.392	-30.396	184.046	20.840	124.024	93.103	423.099
	LAT CL				36.347			16.039		0.000	0.000	52.386
MAY	HEATNG	-0.965	-4.144	0.000	-6.342	-0.484	-26.558	11.194	0.879	5.421	8.607	-12.392
	SEN CL	4.851	-5.522	0.000	-24.289	-0.572	-51.981	150.296	23.268	136.656	91.704	324.412
	LAT CL				26.238			18.238		0.000	0.000	44.476
JUN	HEATNG	-2.667	-15.230	0.000	-29.103	-1.395	-57.156	26.480	2.355	14.450	19.807	-42.459
	SEN CL	0.949	-18.658	0.000	-38.549	-7.037	-65.150	115.227	21.862	127.316	78.136	214.095

	LAT CL				13.081			17.481		0.000	0.000	30.562	

	HEATNG	-1.814	-13.453	0.000	-19.557	-0.509	-41.977	21.219	1.569	10.086	16.764	0.000	-27.672
JUL	SEN CL	2.274	-18.060	0.000	-32.605	-5.837	-62.506	132.926	21.625	126.730	82.500	0.000	247.046
	LAT CL				17.989			17.220		0.000	0.000	35.209	

	HEATNG	-2.222	-8.544	0.000	-19.548	-0.457	-42.801	21.953	1.318	8.714	14.536	0.000	-27.051
AUG	SEN CL	3.246	-13.669	0.000	-35.109	-4.232	-65.042	159.336	23.926	139.070	86.926	0.000	294.451
	LAT CL				20.528			19.017		0.000	0.000	39.545	

	HEATNG	-1.042	-1.807	0.000	-17.562	-0.325	-25.828	15.158	0.861	6.175	10.179	0.000	-14.191
SEP	SEN CL	4.289	-5.096	0.000	-33.693	-5.887	-76.095	194.759	22.258	129.875	86.612	0.000	317.022
	LAT CL				14.022			17.504		0.000	0.000	31.526	

	HEATNG	-0.574	-0.324	0.000	-13.049	-0.142	-16.325	10.956	0.411	3.976	7.607	0.000	-7.464
OCT	SEN CL	5.306	2.304	0.000	-29.692	-2.684	-74.408	240.151	21.602	126.870	90.426	0.000	379.875
	LAT CL				18.094			16.841		0.000	0.000	34.935	

	HEATNG	-0.028	-0.005	0.000	-0.002	-0.005	-1.101	0.671	0.022	0.094	0.196	0.000	-0.156
NOV	SEN CL	11.265	27.600	0.000	8.923	7.437	-24.172	265.294	21.994	130.231	95.439	0.000	544.012
	LAT CL				34.468			16.990		0.000	0.000	51.458	

	HEATNG	-0.001	0.009	0.000	0.000	-0.003	-0.116	0.071	0.004	0.009	0.017	0.000	-0.009
DEC	SEN CL	16.652	49.214	0.000	46.854	15.031	21.260	285.861	24.296	142.545	100.422	0.000	702.135
	LAT CL				66.224			18.691		0.000	0.000	84.916	

	HEATNG	-9.513	-43.552	0.000	-105.116	-3.427	-219.819	111.160	7.584	49.791	79.238	0.000	-133.654
TOT	SEN CL	107.175	174.212	0.000	8.092	41.311	-351.204	2479.112	269.829	1585.452	1094.383	0.000	5408.362
	LAT CL				376.315			210.699		0.000	0.000	587.013	

ANEXO D - Relatório ES-E (último modelo)

REPORT- ES-E SUMMARY OF UTILITY-RATE: T

UTILITY-RATE: T				RESOURCE: ELECTRICITY			DEMAND-WINDOW: HOUR			3413. BTU/KWH			
RATE-QUALIFICATIONS				BLOCK-CHARGES			BILLING-DAY: 25			RATE-LIMITATION: 0.0000			
QUALIFY-RATE: ALL-MONTHS				MIN-ENERGY: 0.0			DEMAND-RATCHETS			MIN-MON-RATCHETS			
METERED BILLING METERED BILLING				PS			FIXED MINIMUM VIRTUAL TOTAL			CHARGE RATE CHARGE			
MONTH	KWH	KWH	KW	ENERGY DEMAND	ENERGY CHARGE	ENERGY CHARGE	CST ADJ	TAXES	SURCHRG	CHARGE	CHARGE	(\$/UNIT)	(\$)
0 JAN	389395	389395	1542.7	1542.7	11357	11015	0	0	0	0	0	0.0575	22373
0 FEB	410457	410457	1519.4	1519.4	11988	10953	0	0	0	0	0	0.0559	22941
0 MAR	416929	416929	1534.9	1534.9	12194	10995	0	0	0	0	0	0.0556	23189
0 APR	349694	349694	1496.1	1496.1	10265	10890	0	0	0	0	0	0.0605	21155
0 MAY	364188	364188	1559.4	1559.4	11456	21629	0	0	0	0	0	0.0908	33085
0 JUN	318079	318079	1137.5	1137.5	10882	9929	0	0	0	0	0	0.0654	20811
0 JUL	325575	325575	1237.6	1237.6	11136	10198	0	0	0	0	0	0.0655	21334
0 AUG	322961	322961	1285.8	1285.8	11024	10327	0	0	0	0	0	0.0661	21351
0 SEP	343233	343233	1292.5	1292.5	11696	10345	0	0	0	0	0	0.0642	22041
0 OCT	378675	378675	1289.3	1289.3	12876	10336	0	0	0	0	0	0.0613	23212
0 NOV	384583	384583	1538.8	1538.8	13001	11005	0	0	0	0	0	0.0624	24006
0 DEC	436756	436756	1558.1	1558.1	13068	22102	0	0	0	0	0	0.0805	35170
TOTAL	4440526	4440526	1559.4	140942	149725	0	0	0	0	0.0655	290667		

ANEXO E - Dados Técnicos dos Registradores da ACR

TABELA 6-1 - Dados técnicos do registrador Smartreader 3 Plus.

número de canais	4: um termistor para junta fria e três canais para termopares
acuracidade	$\pm 2,5\%$ da escala
peso	110 g
dimensões	107 mm x 74 mm x 22 mm
faixas de operação	10, 25, 100 e 250 ampéres
acuracidade do relógio interno	± 8 segundos/dia
capacidade de armazenamento	até 21.500 leituras
tolerância do termistor interno	0,03° C a 25° C, > 0,07 entre -25 e 70 ° C

TABELA 6-2 - Dados técnicos do registrador Smartreader 6 Plus.

número de canais	oito: um termistor para junta fria e sete canais para termopares
faixa/resolução para termopar tipo K	100 to 900°C / 0.50°C
faixa/resolução para termopar tipo K	200 to 400°C / 0.40°C
peso	110 g
dimensões	107 mm x 74 mm x 22 mm
limites de operação	-45 a 70° C ; 0 a 95% UR
acuracidade do relógio interno	± 8 segundos/dia
capacidade de armazenamento	até 21.500 leituras
tolerância do termistor interno	0,03° C a 25° C, > 0,07 entre -25 e 70 ° C

TABELA 6-3 - Dados técnicos do registrador de temperatura JR.

sensor interno	termistor de coeficiente de temperatura negativo (NTC) (R25=10.000 ohms).
faixa	40° C a 85° C
resolução/ acuracidade	0.4° C a 25° C / $\pm 0.2^\circ$ C
limites de operação	40° C a 85° C ; 0 a 95% UR
acuracidade do relógio	+/-2 segundos/dia
intervalo entre medições	2 minutos
tamanho / peso	33 x 43 x 15 mm / 29 gramas
material	poliuretano

ANEXO F - Dados Técnicos do RE1000**TABELA 6-4 - Dados técnicos do registrador Smartreader 3 Plus.**

peso	6 kg
memória	128 Kbytes, expansível até 1 Mbytes
comunicação	óptica 9600 bps, padrão REP ou RS-232, isolada com velocidade determinada pelo PC (9600 bps, 19200 bps, 28800 bps, ...)
faixas de medição	0 a 300 Vrms 0 a 9 Arms
menor intervalos de registro	1 seg.
alimentação da rede	80 a 300 Vca
Exatidão	classe 1, de acordo com a norma IEC 348.

ANEXO G - Exemplificação da Geometria

São apresentados a seguir as duas maneiras de modelar os espaços.

Arquivo PLANILHA-GS.inp	Arquivo PLANILHA.inp
<pre> TERREO = SPACE AREA = 68889.0 VOLUME =836251.7 SPACE-CONDITIONS = SPCE .. TERREO-0 = EXTERIOR-WALL HEIGHT=12.1 WIDTH=339.95 AZIMUTH=0 CONSTRUCTION=PAREDE .. TERREO-0-WINDOW = WINDOW HEIGHT=12.1 WIDTH=336.95 GLASS-TYPE=GT .. TERREO-90 = EXTERIOR-WALL HEIGHT=12.1 WIDTH=272.6 AZIMUTH=90 CONSTRUCTION=PAREDE .. TERREO-90-WINDOW = WINDOW HEIGHT=12.1 WIDTH=269.6 GLASS-TYPE=GT .. TERREO-180 = EXTERIOR-WALL HEIGHT=12.10 WIDTH=272.60 AZIMUTH=180 CONSTRUCTION=PAREDE .. TERREO-180-WINDOW = WINDOW HEIGHT=12.10 WIDTH=269.60 GLASS-TYPE=GT .. TERREO-270 = EXTERIOR-WALL HEIGHT=12.10 WIDTH=272.60 AZIMUTH=0 CONSTRUCTION=PAREDE .. TERREO-270-WINDOW = WINDOW HEIGHT=12.10 WIDTH=269.60.. </pre>	<pre> TERREO = SPACE AREA = 68889.0 VOLUME =836251.7 X=0 Y=0 Z=22.586 SPACE-CONDITIONS = SPCE .. TERREO-0 = EXTERIOR-WALL X=339.95 Y=272.6 HEIGHT=12.1 WIDTH=339.95 AZIMUTH=0 CONSTRUCTION=PAREDE .. TERREO-0-WINDOW = WINDOW X=0 Y=0 HEIGHT=12.1 WIDTH=336.95 GLASS-TYPE=GT .. TERREO-90 = EXTERIOR-WALL X=272.6 Y=0 HEIGHT=12.1 WIDTH=272.6 AZIMUTH=90 CONSTRUCTION=PAREDE .. TERREO-90-WINDOW = WINDOW X=0 Y=0 HEIGHT=12.1 WIDTH=269.6 GLASS-TYPE=GT .. TERREO-180 = EXTERIOR-WALL X=0 Y=0 HEIGHT=12.10 WIDTH=272.60 AZIMUTH=180 CONSTRUCTION=PAREDE .. TERREO-180-WINDOW = WINDOW X=0 Y=0 HEIGHT=12.10 WIDTH=269.60 GLASS-TYPE=GT .. TERREO-270 = EXTERIOR-WALL X=0 Y=272.6 HEIGHT=12.10 WIDTH=272.60 AZIMUTH=0 CONSTRUCTION=PAREDE .. </pre>

ANEXO H - Planilha de Coleta de Dados

Nome da edificação _____		ano de construção _____	
Endereço _____		Cidade _____	Estado _____
PESSOA RESP. P/ CONTATO _____		PROPRIETÁRIO _____	azimute da fachada principal _____

Caracterização dos elementos construtivos

Grupo	elemento	abreviação	material (ordem de dentro para fora), e dimensão
-------	----------	------------	--

PISO



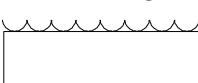
ex: piso comum	PC 1	granito(2cm), concreto(10cm)

PAREDE



ex: parede externa	PE1	massa corrida e reboco(2cm), tijolo baiano deitado transversal (20cm), reboco (3cm), cerâmica de cor branca

TELHADO



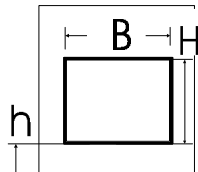
ex: telhado 1	T1	laje (10cm), câmara de ar c/ 30cm de altura, telha de fibrocimento (3cm), cinza, com fungos

FORRO



ex: TETO	T	forro de poliestireno expandido (2cm), câmara de ar c/ altura =40cm

JANELA



ex: janela comum	J1	vidro claro, 5 mm, marca Santamarina	h	B	H

Caracterização dos padrões de uso

ocupação de pessoas	entrada/saída dias úteis	número máximo de pessoas	entrada/saída sábados	número máximo de pessoas	entrada/saída feriados	número máximo de pessoas
expediente regular	__:__/__:	_____ pessoas	__:__/__:	_____ pessoas	__:__/__:	_____ pessoas
limpeza após expediente regular	__:__/__:	_____ pessoas	__:__/__:	_____ pessoas	__:__/__:	_____ pessoas
24 horas	-	_____ pessoas	-	_____ pessoas	-	_____ pessoas
_____ (outros)	__:__/__:	_____ pessoas	__:__/__:	_____ pessoas	__:__/__:	_____ pessoas
_____ (outros)	__:__/__:	_____ pessoas	__:__/__:	_____ pessoas	__:__/__:	_____ pessoas

iluminação	liga/desliga dias úteis	acionamento central ?	liga/desliga sábados	acionamento central ?	liga/desliga feriados	acionamento central ?
expediente regular	__:__/__:	<input type="checkbox"/>	__:__/__:	<input type="checkbox"/>	__:__/__:	<input type="checkbox"/>
limpeza após expediente regular	__:__/__:	<input type="checkbox"/>	__:__/__:	<input type="checkbox"/>	__:__/__:	<input type="checkbox"/>
_____ (outros)	__:__/__:	<input type="checkbox"/>	__:__/__:	<input type="checkbox"/>	__:__/__:	<input type="checkbox"/>
_____ (outros)	__:__/__:	<input type="checkbox"/>	__:__/__:	<input type="checkbox"/>	__:__/__:	<input type="checkbox"/>

equipamentos	liga/desliga dias úteis	acionamento central ?	liga/desliga sábados	acionamento central ?	liga/desliga feriados	acionamento central ?
expediente regular	__:__/__:	<input type="checkbox"/>	__:__/__:	<input type="checkbox"/>	__:__/__:	<input type="checkbox"/>
limpeza após expediente regular	__:__/__:	<input type="checkbox"/>	__:__/__:	<input type="checkbox"/>	__:__/__:	<input type="checkbox"/>
_____ (outros)	__:__/__:	<input type="checkbox"/>	__:__/__:	<input type="checkbox"/>	__:__/__:	<input type="checkbox"/>

Caracterização do sistema de climatização artificial - HVAC:

equipamento instalado (self, chiller, centrífuga, caldeira)	modelo	quant	capacidade de refrigeração (TR/und)	funcionament o dias úteis	funcionament o sábados	funcionament o domingos
_____	_____	_____	_____	: às : : às :	: às : : às :	: às : : às :
_____	_____	_____	_____	: às : : às :	: às : : às :	: às : : às :
_____	_____	_____	_____	: às : : às :	: às : : às :	: às : : às :
_____	_____	_____	_____	: às : : às :	: às : : às :	: às : : às :
_____	_____	_____	_____	: às : : às :	: às : : às :	: às : : às :
_____	_____	_____	_____	: às : : às :	: às : : às :	: às : : às :
_____	_____	_____	_____	: às : : às :	: às : : às :	: às : : às :
_____	_____	_____	_____	: às : : às :	: às : : às :	: às : : às :
_____	_____	_____	_____	: às : : às :	: às : : às :	: às : : às :
_____	_____	_____	_____	: às : : às :	: às : : às :	: às : : às :
_____	_____	_____	_____	: às : : às :	: às : : às :	: às : : às :
_____	_____	_____	_____	: às : : às :	: às : : às :	: às : : às :
_____	_____	_____	_____	: às : : às :	: às : : às :	: às : : às :
_____	_____	_____	_____	: às : : às :	: às : : às :	: às : : às :

outros equipamentos	modelo	quantidade	potência instalada /unid.
torres de arrefecimento	_____	_____	kWh
fan-coils	_____	_____	kWh
fan-coils	_____	_____	kWh
fan-coils	_____	_____	kWh
fan-coils	_____	_____	kWh
bombas hidráulica de água fria	_____	_____	kWh
bombas hidráulica de água fria	_____	_____	kWh
bombas hidráulica de água cond.	_____	_____	kWh
bombas hidráulica de água cond.	_____	_____	kWh
bombas hidráulica de recalque	_____	_____	kWh
bombas hidráulica de recalque	_____	_____	kWh
_____	_____	_____	kWh
_____	_____	_____	kWh

Caracterização dos ambientes

O número de ambientes de cada andar pode ser reduzido para otimizar o modelagem. Devem ser agrupados segundo características comuns: schedules de refrigeração, de ventilação, e de uso (densidade de ocupação, de iluminação, e de equipamentos) . **ESSA PÁGINA DEVERÁ SER COPIADA LIVREVENTE.**

Amb.	AR CONDICIONADO	schedule	densidade uso	altura: - até o teto - teto - laje	piso/ cód cobertura/cód	parede int/ ambiente anexo	parede ext/ orientação.* tipo de janela - quant.
código	(equipamento)	<input type="checkbox"/> regular	m ² /pessoas	(m)	/	/	/ / /
	(refrig -BTU/h)	<input type="checkbox"/> 24 horas	iluminação		(m ²) (cód)	(m ²) (cód. amb.anexo)	(m ²) (°) (janela cód) (qtd)
andar	(aquec -BTU/h)	<input type="checkbox"/> _____ (outros)	(W /m ²)	(m)	/	(m ²) (cód. amb.anexo)	(m ²) (°) (janela cód) (qtd)
	(ventilação - m ³ /h)	_____°C (set-point)	equipament (W/m ²)		(m ²) (cód))	/	/ / /
						(m ²) (cód. amb.anexo)	(m ²) (°) (janela cód) (qtd)
código	(equipamento)	<input type="checkbox"/> regular	m ² /pessoas	(m)	/	/	/ / /
	(refrig -BTU/h)	<input type="checkbox"/> _____	iluminação		(m ²) (cód)	(m ²) (cód. amb.anexo)	(m ²) (°) (janela cód) (qtd)
andar	(aquec -BTU/h)	<input type="checkbox"/> _____ (outros)	(W /m ²)	(m)	/	(m ²) (cód. amb.anexo)	(m ²) (°) (janela cód) (qtd)
	(ventilação - m ³ /h)	_____°C (set-point)	equipament (W/m ²)		(m ²) (cód))	/	/ / /
						(m ²) (cód. amb.anexo)	(m ²) (°) (janela cód) (qtd)

* orientação da bússola em graus a partir do norte verdadeiro

