PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE CARGA TÉRMICA E DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

CURITIBA

2012

RAFAEL ÂNGELO GENTILINI

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE CARGA TÉRMICA E DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Nathan Mendes
Co-orientadora: Profa. Dra. Kátia C. Mendonça

CURITIBA

2012

RAFAEL ÂNGELO GENTILINI

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE CARGA TÉRMICA E DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica Área de concentração: Engenharia e Ciências Térmicas, da Escola Politécnica, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Mecânica.

COMISSÃO EXAMINADORA

_____

Dr. Nathan Mendes (Orientador)

PUCPR

_____

Dra. Kátia Cordeiro de Mendonça(Co-orientadora)

PUCPR

_____

Dr. Luís Mauro Moura (Examinador Interno)

PUCPR

_____

Dr. Aldomar Pedrini (Examinador Externo)

UFRN

Curitiba, 06 de dezembro de 2012.

Esta dissertação é dedicada a minha
família, pelo apoio e incentivo.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo contribuir para o aprimoramento do processo de etiquetagem de edificações comerciais, sobretudo da parcela referente aos sistemas de condicionamento de ar. Haja vista que, para o cálculo da carga térmica de instalações de pequeno porte, a norma ABNT NBR 16401:2008 indica o emprego do método CLTD – *Cooling Load Temperature Difference* – que utiliza valores tabelados conforme padrões de clima e construção norte-americanos e, portanto, pode causar distorções quando as aplicações forem no Brasil, uma primeira ação no sentido de alcançar o objetivo pretendido é a avaliação da qualidade da predição desse método em relação ao método do balanço de energia. Assim, a carga térmica de um edifício-escritório com apenas uma zona térmica é primeiramente levantada através do método CLTD e comparada à carga térmica obtida por um programa de simulação higrotérmica e energética de ambientes considerando diferentes climas: Curitiba, Cuiabá, São Paulo e Denver nos EUA. A segunda e última ação refere-se à análise do processo de etiquetagem e determinação do nível de eficiência energética de edificações com área superior a 500 m² e carga térmica de pico superior a 350 kW. Para um edifício-escritório localizado na cidade de Curitiba avalia-se a ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) das parcelas referentes à envoltória, iluminação e sistemas de condicionamento de ar pelos métodos prescritivo e da simulação. Avalia-se também através do método prescrito, o efeito sobre o nível de eficiência energética da edificação dada uma ação de substituição do sistema de climatização original, sistema central a ar de expansão direta, por um sistema central a água de expansão indireta. A análise comparativa entre os métodos de cálculo de carga térmica CLTD e balanço de energia mostrou uma diferença média de 29,6% a mais nos valores calculados através do método CLTD para o caso proposto. A avaliação da ENCE no segundo estudo de caso apresentou melhores resultados para o método prescritivo e comprovou que o sistema de condicionamento central a água por expansão indireta proposto foi significativo para alcançar melhores resultados na etiquetagem.

ABSTRACT

The aim of this study is to be a contribution to the improvement of labeling process of commercial buildings, especially processes related to air conditioning systems; considering that to calculate heat load of small facilities, the ABNT NBR 16401:2008 standard indicates the use of CLTD – *Cooling Load Temperature Difference* – method, which uses tabulated values according to North-American patterns of climate and constructions and, therefore, can causes distortions when applied in Brazil. A first action towards achieving the goal should be to assess the prognostication's quality of the method over the method of energy balance. Thus, the heat load of an office-building with a single thermal zone is primarily raised through CLTD method, and then compared to the heat load obtained by a hygrothermal and energetic simulation program of environments, considering different climates: Curitiba, Cuiabá, São Paulo and Denver USA. Second and final actions refer to analysis of labeling process and level determination of energy efficiency in buildings with area over 500 m², and peak heat load higher than 350 kW. For an office-building located in Curitiba, it has to be done an evaluation of the ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia/ National Label of Energy Conservation) of parcels regarding to wrapping, lighting and air conditioning systems by prescriptive and simulation methods. It also has to be evaluated, by the prescribed method, the effect on the level of energy efficiency of the building, in a replacement action of the original cooling system, central air-cooled system direct expansion, by a central water-cooled system indirect expansion. A comparative analysis between the methods for calculating heat load, CLTD and energy balance, showed an average difference of 29.6% over values calculated by CLTD method for the proposed case. ENCE evaluation in second case study showed better results for prescriptive method, and proved that proposed central water-cooled conditioning system was significantly better to achieve results in labeling.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado condições e capacidade para a realização desse trabalho.

À minha esposa Lara Calafell Araújo pela compreensão e incentivo durante todo o curso.

Agradeço a minha mãe Rosilene Bonatto pela educação e ensinamentos que foram cruciais para a formação do meu caráter.

Ao meu orientador prof. Dr. Nathan Mendes por sua orientação dedicada, seus ensinamentos e o seu apoio, que permitiram a minha evolução durante o curso de mestrado.

Agradeço especialmente à prof.ª Dra. Kátia Cordeiro de Mendonça, que não apenas foi minha co-orientadora, mas um exemplo de professora que servirá de modelo e referência na minha vida profissional. Agradeço pelos seus ensinamentos, pelo primor científico e, ainda, pelo exemplo de conduta.

Aos professores do PPGEM pelo conhecimento transmitido e inestimável colaboração para o meu desempenho dentro do curso.

Ao LST (Laboratório de Sistemas Térmicos), em especial a Walter Mazuroski, Geovane Vinícius Ferreira, Roberto Zanetti Freire e Rogério Marcos Barbosa pela ajuda e suporte durante as simulações computacionais através do programa Domus.

Agradeço especialmente à secretária do PPGEM, Jane Marques da Rocha pela ajuda e serviços prestados durante a minha trajetória dentro do curso.

Aos meus colegas de mestrado pelo auxílio e companheirismo.

Ao meu amigo e colega Jonathan José Correia por todo o apoio durante o curso e também no desenvolvimento das minhas atividades profissionais.

À CAPES pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

RESUMO ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
AGRADECIMENTOS ..... **vi**
LISTA DE FIGURAS ..... **x**
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS ..... **xi**
LISTA DE SÍMBOLOS ..... **xiii**
1 INTRODUÇÃO **1**
1.1 METODOLOGIA 6
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO 7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **9**
2.1 CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL 9
2.1.1 Normatizações Técnicas 15
2.2 SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR 17
3 CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA **21**
3.1 CARGA TÉRMICA 21
3.2 MÉTODOS DE CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA 25
3.3 CLTD – *Cooling Load Temperature Difference* 28
3.3.1 Carga Térmica Oriunda do Meio Externo 29
3.3.2 Carga Térmica Oriunda do Meio Interno 30
3.4 MÉTODO DO BALANÇO DE ENERGIA 32
3.4.1 Programa de Simulação Higrotérmica e Energética de Edificações - *Domus* 37
3.5 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS 41
4 CONDICIONADORES DE AR **43**
4.1 CONDICIONADORES DE AR UNITÁRIOS 45
4.2 SISTEMA CENTRAL A ÁGUA 50
4.3 DESEMPENHO DE CONDICIONADORES DE AR 54
5 DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES **56**

5.1 CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO DA RTQ-C 56
5.2 MÉTODO PRESCRITIVO 58
5.2.1 Envoltória 58
5.2.2 Sistema de Iluminação 62
5.2.3 Sistema de Condicionamento de Ar 64
5.2.4 Eficiência Energética da Edificação 65
5.3 MÉTODO DA SIMULAÇÃO 66
6 DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO 68
6.1 ESTUDO DE CASO I 68
6.2 ESTUDO DE CASO II 73
6.2.1 Análise da Envoltória 78
6.2.2 Análise do Sistema de Iluminação 79
6.2.3 Sistema de Climatização 80
7 RESULTADOS 82
7.1 RESULTADOS CASO I 82
7.1.1 Influência dos materiais construtivos 85
7.1.2 Influência do clima 88
7.1.3 Dimensionamento de Condicionadores de Ar via CLTD e HBM 90
7.2 RESULTADOS CASO II 92
7.2.1 Resultados pelo método prescritivo 92
7.2.2 Resultados pelo método da simulação 96
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS 100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 104
Anexo A 109
Anexo B 118
Anexo C 123

LISTA DE TABELAS

TABELA 5.1 – PARÂMETROS DE EFICIÊNCIA DA ENVOLTÓRIA 59
TABELA 5.2 – PARÂMETROS PARA CÁLCULO DO IC_{MaxD} 61
TABELA 5.3 – PARÂMETROS PARA CÁLCULO DO $IC_{\min}$ 61
TABELA 5.4 – LIMITES DOS INTERVALOS DOS NÍVEIS DE EFICIÊNCIA.....62
TABELA 5.5 – PARÂMETROS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE ILUMINAÇÃO PELO MÉTODO DA ÁREA 63
TABELA 5.6 – ESPESSURA MÍNIMA DE TUBULAÇÕES PARA SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO.....64
TABELA 5.7 – PARÂMETROS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE SPLITS.....64
TABELA 5.8 – PARÂMETROS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO RESFRIADOR DE LÍQUIDO 65
TABELA 5.9 – CLASSIFICAÇÃO GERAL PELO MÉTODO PRESCRITIVO.....66
TABELA 6.1– CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS.....69
TABELA 6.2 – CARACTERÍSTICAS DA ENVOLTÓRIA 72
TABELA 6.3 – CARGA TÉRMICA GERADA INTERNAMENTE 73
TABELA 6.4 – VARIÁVEIS ENVOLTÓRIA.....78
TABELA 6.5 – CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DAS PAREDES.....79
TABELA 6.6 – DADOS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO.....80
TABELA 6.7 – DADOS DOS CONDICIONADORES DE AR 81
TABELA 7.1 – CONDICIONADORES DE AR DIMENSIONADOS PARA CADA METODOLOGIA.....85
TABELA 7.2 – MATERIAIS CONSTRUTIVOS BRASILEIROS E AMERICANOS.....86
TABELA 7.3 – POSICIONAMENTO DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS NAS PAREDES.....87
TABELA 7.4 – DIMENSIONAMENTO DE CONDICIONADORES DE AR 91
TABELA 7.5 – LIMITE DOS INTERVALOS DE NÍVEIS DE EFICIÊNCIA PARA ENVOLTÓRIA 93
TABELA 7.6 – ANÁLISE DE PRÉ-REQUISITOS PARA CLASSIFICAÇÃO DA ENVOLTÓRIA 93
TABELA 7.7 – CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO 94
TABELA 7.8 – CLASSIFICAÇÃO GERAL PELO MÉTODO PRESCRITIVO.....96

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Carga térmica (adaptado de Mcquiston *et al.,* 2005).....22
FIGURA 3.2 – Representação da inércia térmica – (Frota 2003) 24
FIGURA 3.3 – Carga térmica via método do balanço de energia (Spitler, 2010).....33
FIGURA 3.4 – Fluxo térmico através da superfície externa (Mcquinston et al. 2005).....35
FIGURA 3.5 – Fluxo térmico através da superfície interna (Mcquinston et al. 2005) 36
FIGURA 3.6 – Elementos de simulação energética de edificações (Adaptado de Barbosa 2006) 38
FIGURA 4.1 – Ciclo frigorífico por compressão mecânica de vapores.....46
FIGURA 4.2 – Sistema primário de condicionamento de ar à água (Adaptado de Barbosa 2008) 51
FIGURA 4.3 – Sistema secundário condicionamento central à água (Adaptado de Barbosa 2008).... 52
FIGURA 5.1– Método da simulação (disponível em:<http://www.labeee.ufsc.br >, acesso em: dezembro de 2011) 57
FIGURA 6.1 – Edifício escritório para teste do método CLTD.....70
FIGURA 6.2 – Escritório de contabilidade.....73
FIGURA 6.3 – Fachada da edificação 74
FIGURA 6.4 – Planta baixa do primeiro pavimento.....75
FIGURA 6.5 – Planta baixa do segundo e terceiro pavimentos.....76
FIGURA 7.1 – Comparação entre as metodologias HBM e CLTD.....83
FIGURA 7.2 – Comparação entre as cargas internas para os métodos HBM e CLTD.....84
FIGURA 7.3 – Comparativo entre carga térmica horária para envoltória 84
FIGURA 7.4 – Comparativo entre carga térmica para materiais brasileiros e americanos.....86
FIGURA 7.5 – Comportamento de carga térmica para materiais posicionados de maneira diferente...87
FIGURA 7.6 – Influência do clima para Curitiba.....88
FIGURA 7.7 – Influência do clima para São Paulo.....89
FIGURA 7.8 – Influência do clima para Cuiabá.....89
FIGURA 7.9 – Consumo de energia dos condicionadores de ar.....91
FIGURA 7.10 – Sistema central a água proposto 95
FIGURA 7.11 – ENCE sem bonificações.....97
FIGURA 7.12 – ENCE com bonificações.....98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	*Associação Brasileira de Normas Técnicas*
AHAM	*Association of Home Appliance Manufactures*
ANSI	*American National Standards Institute*
ASHRAE	*American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers*
BEN	*Balanço Energético Nacional*
CEC	*Custo de Energia Conservada*
CLF	*Cooling Load Factor*
CLTD	*Cooling Load Temperature Difference*
COP	*Coefficient of Performance*
DOE	*United States Department of Energy*
DOMUS	*Programa de Simulação Higrotérmica de Edificações*
EER	*Energy Efficiency Ratio*
EDP	*Equações Diferenciais Parciais*
EPE	*Empresa de Pesquisa Energética*
E+	*Energy Plus*
EPS	*Poliestireno Expandido*
ENCE	*Etiqueta Nacional de Conservação de Energia*
FCS	*Fator de Calor Sensível*
HBM	*Heat Balance Method*
HVAC	*Heating Ventilating and Air Conditioning*
IESNA	*Iluminating Engineering Society of North America*

INMETRO	*Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial*
ISO	*International Organization for Standardization*
MCE	*Medidas de Conservação de Energia*
MME	*Ministério de Minas e Energia*
NBR	*Norma brasileira*
NREL	*National Renewable Energy Laboratory*
PAC	*Programa de Aceleração do Crescimento*
PMV	*Predicted mean vote*
PPD	*Predicted percentage of dissatisfied*
PROCEL	*Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica*
PVC	*Policloreto de Vinila*
RCR	*Room Cavity Ratio*
RTQ-C	*Manual de Requisitos Técnicos de Qualidade – Edificações Comerciais*
RTS	*Radiant Time Series Method*
SCL	*Solar Cooling Load*
SHGF	*Solar Heating Gain Factor*
TETD/TA	*Total Equivalent Temperature Difference/Time Averaging*
TFM	*Método da Função Transferência*
TRY	*Typical Reference Year*
VISUALDOE	*Programa de Simulação Higrotérmica de Edificações*
VRF	*Volume de Refrigerante Variável*
UMIDUS	*Programa Computacional de Transferência de Umidade*

LISTA DE SÍMBOLOS

A	*Área da superfície da parede;*	$[m^2]$
AVS	*Ângulo vertical de sombreamento;*	$[^\circ]$
AHS	*Ângulo Horizontal de Sombreamento;*	$[^\circ]$
a_n	*Coeficientes de correção para equipamentos;*	[ ]
c_p	*Calor específico a pressão constante;*	$\left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right]$
CAPFT	*Capacidade de refrigeração para diferentes temperaturas;*	$[kW]$
CLTD	*Coeficiente de diferença de temperatura de carga de resfriamento;*	$[K]$
CLF	*Fator de carga térmica;*	[ ]
EIRFT	*Eficiência em carga total para diferentes temperaturas;*	$[kW]$
$\dot{E}_g$	*Taxa de energia gerada internamente;*	$[W]$
E_t	*Taxa de energia transferida através das paredes;*	$[W]$
FA	*Fator de altura;*	$\left[\frac{m^2}{m^2}\right]$
FF	*Fator de forma;*	$\left[\frac{m^2}{m^3}\right]$
FS	*Fator Solar;*	[ ]
h	*Entalpia;*	$\left[\frac{kJ}{kg}\right]$
ICL_τ	*Carga térmica instantânea;*	$[W]$

IGT_{τ}	*Ganho térmico instantâneo;*	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
IC_{env}	*Indicador de Consumo da envoltória;*	[ ]
k	*Condutividade térmica;*	$\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$
K	*Índice de ambiente*	[ ]
$\dot{m}$	*Vazão mássica;*	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
N_p	*Quantidade de pessoas no ambiente;*	[ ]
PLR	*Razão de carga parcial;*	[ ]
Q	*Vazão volumétrica de ar;*	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Q_S	*Calor sensível;*	$[W]$
Q_o	*Potência de resfriamento ou aquecimento;*	$[W]$
q"	*Fluxo de calor;*	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
q	*Taxa de transferência de calor;*	$[W]$
R	*Resistência térmica;*	$\left[\frac{m^2 \cdot K}{W}\right]$
RCR	*Room Cavity Ratio*	[ ]
SCL	*Fator de calor solar*	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
SC	*Coeficiente de sombreamento;*	[ ]
$SHGF$	*Fator de ganho térmico solar*	$\left[\frac{W}{m^2}\right]$

T	*Temperatura;*	$[K]$
TBS	*Temperatura de bulbo seco;*	$[K]$
TBU	*Temperatura de bulbo úmido;*	$[K]$
TETD	*Diferença de Temperatura Padronizada do elemento Construtivo*	$[K]$
t	*Tempo;*	$[s]$
U	*Coeficiente global de transferência de calor;*	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$
V	*Volume do ambiente;*	$[m^3]$
W_c	*Potência consumida;*	$[W]$
x	*Distância;*	$[m]$
Z	*Fator de correção;*	[ ]

Letras Gregas

α_j	*Difusividade térmica referente à camada j do material da parede;*	$\left[\frac{m^2}{s}\right]$
β	*Fator de cálculo para transferência de calor em paredes internas;*	$\left[\frac{W}{K}\right]$
ρ	*Massa específica;*	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
θ	*Variação temporal;*	$[h]$
τ	*Tempo;*	$[s]$

Subescritos

abe	*Aberturas;*
adj	*Adjacente;*
CA	*Condicionamento de ar;*
corr	*Corrigido;*
CS	*Capacidade sensível;*
CT	*Capacidade total;*
DPI	*Densidade de Potência de Iluminação;*
e	*Entrada, ou externo;*
EER	*Eficiência energética;*
ECD	*Entrada condensador;*
equip	*Equipamentos;*
env	*Envoltória;*
ext	*Externo;*
i	*Medida de posição nas camadas da envoltória, ou interno;*
ilum	*Iluminação;*
int	*Ambiente interno;*
l	*Latente;*
lamp	*lâmpada;*
Max	*Máximo*
Min	*Mínimo*
o	*Ambiente externo;*
p	*Pessoas;*

Pcob	*Projeção da cobertura;*
Pe	*Projeção do edifício;*
j	*Medida de posição nas camadas da envoltória;*
S	*Superfície, ou saída, ou sensível;*
Se	*Superfície externa;*
S_{EV}	*Saída evaporador;*
SI	*Superfície interna;*
tab	*Tabelado;*
t	*Tempo;*
tot	*Total;*
Wall	*Parede;*
vent	*Ventilação;*
V	*Ventilado naturalmente;*
x	*Componente do plano cartesiano;*

Abreviações

APT	*Ambiente de permanência transitória;*
ANC	*Área não-condicionada;*
AU	*Área útil;*
AC	*Área condicionada;*
PAFT	*Percentual de abertura na fachada total;*
POC	*Percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural;*

1 INTRODUÇÃO

A partir da Revolução Industrial, a competitividade econômica dos países e a qualidade de vida de seus cidadãos tornaram-se intensamente influenciadas pela energia. No que diz respeito à eletricidade, a sua utilização, inicialmente restrita à iluminação, ampliou-se consideravelmente com a invenção do transformador e do motor de corrente alternada.

Estes sistemas transformaram a eletricidade na forma de energia mais adequada para a produção da força motriz utilizada na indústria, além de possibilitarem o surgimento de uma grande variedade de aplicações nos setor residencial e de serviços.

Com base no cenário mundial, observa-se que a realidade do consumo de energia elétrica nos países desenvolvidos e em desenvolvimento é crescente, fato que comprova a relação dos índices de crescimento econômico com o aumento do consumo de energia.

Essa questão se apresenta para o Brasil como um desafio para as próximas décadas, porque o desenvolvimento econômico e social demandará expressiva quantidade de energia e, com isso, alto grau de segurança e de sustentabilidade energéticas.

De acordo com a Nota Técnica (Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos), divulgada pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética – a demanda de energia elétrica no Brasil ao longo da década deverá crescer a uma taxa média de 4,8% ao ano, saindo do atual patamar de consumo total de 456,5 mil gigawatts-hora (GWh) no ano de 2010 para 730,1 mil GWh em 2020. O levantamento considera um cenário de crescimento da economia de 5% anuais até o fim da década.

De maneira geral, nota-se uma mudança contínua desde 2001, quando grande parte do país viu-se obrigada a fazer racionamento de energia devido à crise de abastecimento. Desde então o governo brasileiro vem desenvolvendo estratégias diferentes para garantir o abastecimento e manter o crescimento da economia.

Em 17 de outubro de 2001 entrou em vigor a lei nacional de eficiência energética (Lei n° 10.295). Esta lei trata, entre outras questões, da promoção de

equipamentos e sistemas energéticos mais eficientes, estabelecendo programas de financiamento e redução de impostos para promover investimentos, por parte da indústria e do comércio, em equipamentos mais eficientes; aceleração do desenvolvimento e da difusão de tecnologias de conservação de energia e a promoção de sistema de etiquetagem em equipamentos.

Em 2007 o Governo Federal anunciou um conjunto de medidas para aumentar e melhorar a infra-estrutura do país com o objetivo de gerar retorno econômico e social, o PAC (Programa de Aceleração do Crescimento). Esse programa se traduz em um conjunto de investimentos organizado em: logística (rodovias, ferrovias, portos, aeroportos e hidrovias); energia (geração, transmissão de energia elétrica, petróleo e gás natural e combustíveis renováveis); e infra-estrutura social e urbana (saneamento, habitação, transporte urbano, Programa Luz para Todos e recursos hídricos).

No que tange o setor elétrico, o PAC prevê a instalação de 39.806 MW e a construção de 19.083 km de linhas de transmissão representando um investimento total de cerca de R$ 102,5 bilhões.

Segundo dados obtidos do BEN – Balanço Energético Nacional – de 2010, o avanço no consumo de energia elétrica no Brasil foi o maior já registrado em 15 anos. A alta de 7,8% em relação ao ano anterior só é equivalente à de 1995. Nesse período, o consumo passou de 243.074 GWh para 419.016 GWh, um avanço de 72,4% de acordo com dados da EPE e da Eletrobrás.

O setor que apresentou maior crescimento nos últimos 15 anos foi o comercial, cuja alta foi de 114,1%, passando de 32.276 GWh para 69.086 GWh, após registrar alta em praticamente todos esses anos, exceto em 2001.

Atribuem-se às edificações residenciais, públicas e comerciais um consumo de 45% da energia elétrica gerada no país segundo dados do Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética (Procel Edifica 2012), sendo que nos edifícios comerciais o maior responsável é o sistema de climatização para promoção do conforto térmico.

O INMETRO através da portaria n° 372 de 17 de setembro de 2010, estabeleceu a revisão da RTQ-C – Regulamentação Técnica da Qualidade – para avaliar a eficiência energética do projeto e execução de edifícios públicos e comerciais.

A RTQ-C avalia três quesitos básicos do projeto de uma edificação: envoltória, iluminação e condicionamento de ar.

Cada quesito é avaliado individualmente para determinar a eficiência energética de uma edificação e um peso percentual é atribuído da seguinte forma:

- Envoltória: 30%
- Iluminação: 30%
- Condicionamento de Ar: 40%

Através da aplicação da RTQ-C é possível obter a ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – desenvolvida em parceria com a Eletrobrás, por meio do PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. O objetivo é diminuir o ganho de calor pela envoltória do edifício e, ao mesmo tempo, diminuir a potência de iluminação, levando a um consumo menor de energia elétrica, além de incentivar o uso da energia solar.

A RTQ-C indica em seu texto a utilização da norma ABNT NBR 16401:2008 – Instalações de ar condicionado – Sistemas Centrais e Unitários – para o cálculo de carga térmica e dimensionamento dos sistemas de condicionamento de ar.

A norma orienta o cálculo de carga térmica da seguinte forma: para sistemas com zona única ou um pequeno número de zonas, adota-se o método CLTD – *Cooling Load Temperature Difference* – que utiliza tabelas de fatores e coeficientes pré-calculados com base em construções e situações típicas norte-americanas. Este método é uma versão simplificada e adaptada para o cálculo manual, do método TFM – *Transfer Function Method.* Para os casos de complexidade maior, o cálculo da carga térmica deve ser feito com auxílio de um programa de computador. O programa deve utilizar o método da função transferência ou preferivelmente o RTS – *Radiant Time Series Method.*

Os programas computacionais para simulação de ambientes passaram a ser mais difundidos no final da década de 70, devido à crise energética e a popularização dos computadores. Estas ferramentas permitem aos engenheiros e arquitetos analisar fenômenos complexos, como a transferência de calor em regime transiente através de elementos construtivos. Cálculos desta natureza envolvem matrizes e iterações que dificultam sua resolução manual. O principal objetivo é o cálculo de carga térmica e análise do consumo de energia elétrica em edificações. Estas ferramentas vêm se tornando indispensáveis como recursos para fornecer diretrizes de projeto para o melhoramento da eficiência energética.

A simulação computacional considera fontes de calor externas e internas da edificação, tais como as variáveis climáticas, calor gerado pelas pessoas, equipamentos eletrônicos, iluminação artificial, além das cargas de refrigeração e aquecimento artificiais. O resultado é uma estimativa do efeito destas cargas térmicas em um determinado ambiente.

O cálculo da carga térmica é necessário para dimensionar e avaliar diferentes sistemas de condicionamento de ar em edificações quanto à eficiência.

Um ambiente pode ser condicionado por diferentes sistemas que se diferenciam devido ao arranjo e características construtivas. Neste sentido, destacam-se os equipamentos de expansão direta e expansão indireta. O equipamento é dito de expansão direta quando o fluido refrigerante é diretamente responsável pela troca térmica com o ar que se pretende climatizar. Já os condicionadores de expansão indireta operam com um fluido refrigerante que resfria um segundo fluido (normalmente água), o qual é o responsável pela troca térmica com o ar do ambiente condicionado.

Em relação ao arranjo dos equipamentos, destacam-se os sistemas unitários, os sistemas centrais a água e os sistemas centrais por expansão direta.

Os sistemas unitários são projetados para atender uma única zona térmica. Os condicionadores de ar incluídos nesta categoria utilizam um único fluido refrigerante responsável pelo transporte de calor da zona térmica para o meio externo.

Os sistemas centrais a água possuem dois subsistemas: primário e secundário. O subsistema primário é responsável por suprir o sistema secundário com um fluido intermediário a uma temperatura capaz de atender determinada condição de projeto. O subsistema secundário por sua vez, é responsável pelo condicionamento do ar contido na zona térmica, e pode ser instalado no próprio ambiente ou utilizar uma rede de dutos de distribuição.

Já os sistemas centrais a ar por expansão direta, operam a partir de uma unidade condensadora que utiliza um único fluido refrigerante capaz de atender mais de uma unidade evaporadora ou através de equipamentos dotados de ventilador capaz de fornecer vazão e pressão suficientes para suportar uma rede de dutos.

O objetivo geral desse trabalho é contribuir para o aprimoramento do processo de etiquetagem de edificações comerciais de pequeno e grande porte, sobretudo da parcela referente aos sistemas de condicionamento de ar.

Haja vista que, para o cálculo da carga térmica de instalações de pequeno porte, a norma ABNT NBR 16401:2008 indica o emprego do método CLTD que utiliza valores tabelados conforme padrões de clima e construção norte-americanos e, portanto, pode causar distorções quando as aplicações forem no Brasil, uma primeira ação no sentido de alcançar o objetivo pretendido é a avaliação da qualidade da predição desse método em relação ao método do balanço de energia, mais preciso e normalmente empregado nos programas de simulação térmica e energética de edificações.

A segunda ação refere-se às edificações com área superior a 500 m² e carga térmica de pico superior a 350 kW. Utiliza-se um edifício-escritório localizado na cidade de Curitiba para avaliar a ENCE das parcelas referentes à envoltória, iluminação e sistemas de condicionamento de ar. O objetivo é avaliar a diferença entre a aplicação dos dois métodos de etiquetagem citados na RTQ-C e o impacto da utilização de um sistema de condicionamento de ar central a água por expansão indireta na etiqueta geral da edificação.

1.1 METODOLOGIA

No que se refere à avaliação da qualidade do método de cálculo de carga térmica CLTD em relação ao método do balanço de energia, uma primeira etapa é determinar a carga térmica de um edifício-escritório de pequeno porte, através do programa de simulação higrotérmica e energética de ambientes Domus-Procel Edifica (MENDES *et al.*, 2003) que utiliza o método do balanço de energia e pelo método CLTD aplicado manualmente.

Nessa etapa, primeiramente são empregados o arquivo climático de Denver e padrões construtivos norte-americanos. Dessa forma, a análise comparativa entre os resultados obtidos para os dois métodos, permitirá avaliar o efeito no cálculo da carga térmica.

Na seqüência, as simulações são realizadas empregando o material construtivo real do edifício-escritório, mantendo-se, no entanto, o arquivo climático de Denver. O intuito é, a partir da comparação com os resultados do caso anterior, investigar a influência no cálculo da carga térmica do emprego de materiais construtivos diferentes daqueles para os quais o método CLTD foi desenvolvido.

Uma segunda análise é realizada com o objetivo de apresentar resultados provenientes da alteração de posição dos materiais construtivos reais nas paredes da edificação. Utiliza-se o arquivo climático de Denver e consideram-se os posicionamentos original e modificado das camadas de materiais que compõem as paredes para efeito comparativo.

Por último, a fim de investigar o efeito do clima no cálculo da carga térmica, as simulações com os dois métodos são realizadas empregando o material construtivo brasileiro para três arquivos climáticos distintos: Cuiabá, Curitiba e São Paulo.

Na segunda etapa, realiza-se uma simulação termoenergética utilizando o programa Domus-Procel Edifica para um edifício-escritório localizado em Curitiba, cuja carga térmica de pico é superior a 350 kW.

A partir do método prescritivo citado pela RTQ-C do INMETRO, dois cenários são simulados. Primeiro aplica-se a solução de condicionamento de ar instalada no edifício, com sistemas centrais a ar que utilizam *self-contained*. O segundo cenário é simulado com uma nova proposta de condicionadores de ar, a qual utiliza um sistema central a água por expansão indireta composto por um resfriador de líquido, bombas centrífugas e resfriadores de ar do tipo *fan-coil*. Os resultados para classificar o desempenho energético da edificação (ENCE), são apresentados para as parcelas relativas à envoltória, iluminação e sistema de condicionamento de ar. Os resultados das duas soluções de condicionamento de ar são apresentadas em uma mesma tabela, assim com a aplicação da pontuação de bonificação.

Uma análise através do método da simulação que também é indicado pela RTQ-C do INMETRO é realizada para o segundo estudo de caso. Aplica-se a solução de condicionamento de ar com sistema central a água por expansão indireta para avaliar o desempenho energético da edificação (ENCE) e comparar com o método prescritivo.

É dada uma ênfase para os resultados obtidos no sistema de condicionamento de ar, com objetivo de verificar a estratégia mais adequada para se obter uma classificação mais eficiente.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por oito capítulos além da introdução, que tratam dos seguintes assuntos:

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica do trabalho, onde se discutem trabalhos sobre os procedimentos para cálculo de carga térmica através do método CLTD – *Cooling Load Temperature Difference* – e pelo balanço de energia através de simulação computacional; estudos referentes às aplicações dos sistemas de condicionamento de ar por expansão direta e indireta em edificações, além das normas

técnicas que orientam as boas práticas de projeto e instalação de condicionadores de ar para edificações.

O Capítulo 3 apresenta os fundamentos de carga térmica e os métodos de cálculo CLTD e balanço de energia, utilizados para mensurar a quantidade de calor dentro de um ambiente.

No Capítulo 4, apresentam-se os conceitos de condicionadores de ar unitário e central. Além disso, descrevem-se os modelos matemáticos dos equipamentos utilizados pelo programa Domus-Procel Edifica durante a simulação.

No Capítulo 5, introduzem-se os procedimentos para avaliação de desempenho energético de edificações comerciais de acordo com a RTQ-C, no que tange a envoltória, iluminação e sistema de condicionamento de ar.

No Capítulo 6 descrevem-se detalhadamente os dois edifícios-escritório utilizados como estudo de caso para a realização das análises pretendidas.

O Capítulo 7 está dividido em duas partes, na primeira apresentam-se os resultados das análises relativas ao primeiro estudo de caso, edifício-escritório de pequeno porte, ao passo que na segunda parte são apresentados os resultados das análises relativas ao segundo estudo de caso, edifício-escritório com carga térmica de pico superior a 350 kW.

A conclusão do trabalho é apresentada no Capítulo 8.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta as referências teórico-científicas a respeito dos métodos de cálculo de carga térmica empregados no presente trabalho, sistemas de condicionamento de ar aplicados em edificações comerciais e etiquetagem de eficiência energética de edificações públicas e comerciais.

2.1 CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Alguns trabalhos relativos aos métodos de cálculo de carga térmica e simulação computacional utilizados nesse trabalho são citados para a fundamentação do estudo. O método CLTD (*Cooling Load Temperature Difference*) foi desenvolvido por Rudoy e Duran (1975), mais tarde, um artigo de Spitler *et al*. (1993) apresenta uma revisão do método manual para cálculo de carga térmica CLTD/CLF (*Cooling Load Temperature Difference/Cooling Load Factor*). Nesta revisão foi introduzido um novo fator de cálculo baseado na radiação solar transmitida através de janelas e aberturas, o SCL (*Solar Cooling Load*). Esse fator foi calculado para três latitudes diferentes, fato que possibilitou uma precisão maior no cálculo de carga térmica. Além disso, criaram o programa computacional CLTDTAB para determinação de novos fatores SCL para qualquer latitude e mês do ano desejado. Até então todos os fatores do método CLTD/CLF eram calculados com base na latitude de 40°N no dia 21 de julho. O programa CLTDTAB gera novos valores de CLF para zonas climáticas específicas, aumentando a confiabilidade do método.

Asan (2000) apresentou um estudo sobre o tempo que a onda de calor precisa para atravessar uma parede (*time lag*) e a diminuição da amplitude dessa onda (*decrement factor*). O melhor resultado obtido pelo autor foi com a inclusão de placas parciais de isolamento posicionadas de forma equidistantes, uma mais próxima da face interna e outra mais próxima da face externa. O material isolante posicionado na face externa também diminui a amplitude da onda de calor, porém o *time lag* foi pequeno.

Chaiyapinunt *et al.* (2003) desenvolveram tabelas com novos valores de CLTD específicos para o padrão climático e construtivo da cidade de Bancoc, Tailândia. Os dados climáticos foram coletados durante 12 anos pelo departamento de metrologia da Tailândia e divididos em duas classes. Primeiro utilizou-se os dados com base na temperatura de bulbo seco com freqüência acumulada e ocorrência de 0,4% ao ano. A outra classe baseou-se na temperatura de bulbo seco com freqüência acumulada e ocorrência de 0,4% a cada hora. O estudo apresenta também as diferenças entre os valores de CLTD tabelados nos manuais da ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers* – que foram calculados para os padrões construtivos norte-americanos e latitude de 40 °N, em relação aos novos valores calculados para a cidade de Bancoc. Os resultados obtidos mostraram uma grande divergência nos valores de carga térmica encontrados para as paredes leste, oeste e para o telhado.

Com relação aos estudos realizados sobre simulação computacional e etiquetagem de eficiência energética, citam-se diversos autores com trabalhos relacionados:

Mendes *et al.* (2001) apresentaram um programa de simulação higrotérmica e energética chamado *Domus 1.0* para edificações com múltiplas zonas. Construído em linguagem de programação C++ e compatível com sistemas operacionais *Windows*. O *software* utiliza em seu modelo matemático o método do balanço de energia e a técnica de diferenças finitas para calcular a transferência de calor nas paredes. Além disso, permite avaliar a eficiência de uma edificação através de relatórios com dados calculados hora a hora de temperatura e umidade, índices de conforto térmico (PMV e PPD), consumo de energia, carga térmica e custo de operação.

Westphal (2002) desenvolveu um método para estimar o consumo de energia elétrica de edificações não residenciais climatizadas, utilizando dados de temperatura de bulbo seco, umidade relativa, nebulosidade e pressão atmosférica extraídos de normais climatológicas. A partir das médias das temperaturas extremas mensais (máximas e mínimas) são gerados dois dias extremos de carga térmica para cada mês

do ano: o dia de maior pico e o dia com a menor carga térmica de resfriamento. O cálculo da carga térmica para esses dias é feito através do método TFM – *Transfer Function Method.* O consumo mensal de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar é estimado a partir de curvas de desempenho dos equipamentos e dos valores horários de carga térmica ocorrida no ambiente. Uma validação através do método *BESTEST* adotado da *ASHRAE Standard* 140 foi realizada, obtendo-se para as paredes leves um resultado satisfatório, mas para paredes pesadas houve uma distorção de 446%. Para verificar o desempenho dos condicionadores de ar adotou-se o método *HVAC BESTEST*, onde a diferença máxima verificada entre o consumo de energia elétrica e o consumo apresentado como solução analítica na metodologia de validação foi de apenas 1,3%.

Mendes *et al*. (2003a) apresentaram a segunda versão do programa de simulação higrotérmica para edificações *Domus 2.0*. Nesta versão o programa de transferência de umidade *UMIDUS* (Mendes, *et al.*, 1999) foi incorporado, permitindo verificar os efeitos da umidade nas paredes das edificações. Uma edificação de três andares utilizando os dados climáticos da cidade de Curitiba foi simulada através dessa versão do programa, apresentando os resultados em termos de temperatura de bulbo seco, umidade relativa e índices de conforto térmico de *Fanger* (PMV e PPD).

Abadie e Mendes (2006) apresentaram uma comparação entre os métodos de fatores de resposta e de volumes finitos para calcular a transferência de calor e massa através da envoltória de uma edificação. Para isso, utilizou-se o programa *TRNSYS* para aplicar o método dos fatores de resposta e o programa de análise higrotérmica e energética de ambientes Domus-Procel Edifica. O principal objetivo do exercício é comparar a previsão de ambos os métodos. Um procedimento de duas etapas foi empregado. Primeiro trata-se o problema sem considerar a umidade nas paredes, onde três casos de complexidade diferentes são estudados e comparados com soluções analíticas. A segunda etapa se concentra no problema de umidade comparando-se as respostas obtidas com um modelo de duas camadas e uma discretização de volumes finitos para a transferência de umidade. Os resultados mostram que os valores de passo de tempo são determinantes, mesmo para os casos da primeira etapa, onde o valor de

uma hora pode levar a erros notáveis. Para problemas com absorção de umidade na parede, tem sido demonstrado que o refinamento da malha é um parâmetro muito decisivo, enquanto que o passo de tempo tem de ser muito pequeno para se conseguir uma boa resposta.

Rey *et al*. (2006) apresentaram um novo método para análise de eficiência energética e impacto ambiental gerados por edificações. O método é conhecido como BEA (*Building Energy Analysis*), que se baseia num modelo estatístico, que considera fatores de demanda que influenciam a curva de carga térmica, a envoltória, ocupação, tempo e características funcionais do edifício. A partir da obtenção do consumo de energia total, deduz-se o consumo do sistema de condicionamento de ar por sazonalidade e depois se calcula a taxa de emissão de dióxido de carbono e o impacto ambiental gerado. Nesse trabalho avalia-se um edifício usado como posto de saúde para comparar a metodologia BEA, com dois modelos de simulação obtidos através de programas reconhecidos internacionalmente, o primeiro conhecido como HAP (*Hourly Analysis Program*) e o segundo através do programa PowerDOE. Os resultados obtidos foram muito próximos, houve uma diferença de 5% entre o BEA e o HAP e uma diferença de 17% entre o BEA e o PowerDOE. Porém em termos de etiqueta de eficiência energética para o mesmo caso prático, obteve-se a mesma classificação (*Good*).

Carlo (2008) em sua tese de doutorado elabora uma metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações comerciais e institucionais. As características do envoltório como área de janela, tipo de vidro, existência de dimensões de proteções solares, proporção das menores fachadas em relação às maiores, número de pavimentos e forma foram observados em 1103 edificações distribuídas em cinco cidades brasileiras: Recife, Salvador, Belo Horizonte, São Paulo e Florianópolis. As características mais comuns encontradas para cada atividade formaram cinco modelos representativos. Um sexto modelo foi criado exclusivamente para complementar o desenvolvimento de uma equação de regressão linear multivariada. Os modelos representativos foram adaptados para criar protótipos ineficientes, utilizados para simular o desempenho energético no programa *E+*.

Características primárias (densidade de carga interna, eficiência do condicionamento de ar, orientação solar das edificações, volumetria) foram avaliadas através de simulação para verificar sua influência no impacto do envoltório sobre o consumo de energia. Características secundárias do envoltório foram simuladas com a inclusão gradativa de Medidas de Conservação de Energia, MCE, aos protótipos ineficientes. O critério de simulação e de inclusão de MCE foi a seleção da alternativa cuja medida proporcionava o menor Custo da Energia Conservada, CEC. As simulações cuja eficiência do condicionador de ar de janela era A e orientação das maiores fachadas era a N-S propiciaram o desenvolvimento de duas equações de regressão, relacionadas à volumetria da edificação a ser analisada. Depois de desenvolvidas as equações, o Indicador de Consumo obtido e os indicadores de custos: *Pay-back*, Taxa Interna de Retorno, Custo da Energia Conservada e Custo do Ciclo de Vida foram utilizados para avaliação da eficiência energética do envoltório. O Custo da Energia Conservada mostrou ser o mais adequado devido à sua simplicidade de cálculo, à redução das incertezas embutidas nas suas variáveis e à interpretação que fornece, combinando benefícios financeiros anuais à economia de energia que a medida proporciona. Todos estes indicadores, entretanto, podem ser utilizados para avaliações comparativas dentre o mesmo modelo de edifício, e podem ser adequados para a avaliação da eficiência de acordo com a análise a ser efetuada.

Carlo e Lamberts (2010) apresentam dois artigos sintetizando os métodos prescritivo e da simulação, para avaliação da eficiência energética de edificações públicas e comerciais presentes na RTQ-C (Regulamentação Técnica de Qualidade) do INMETRO. O método prescritivo foi aplicado em um edifício existente, considerando 13 alternativas para a determinação dos níveis de eficiência da envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. Mostraram-se os casos nos quais o método de simulação é mais indicado que o prescritivo, por limitações deste último. Os resultados variaram de níveis de eficiência A, mais elevados, a E, de baixa eficiência. Dessa forma, o método prescritivo viabiliza a determinação simplificada do nível de eficiência, porém essas simplificações apresentam limitações. Entre as mais relevantes estão à necessidade de simular a ventilação natural, os limites de uso de

diferentes volumetrias para análise da envoltória e a pequena precisão de vidros de elevado desempenho em grandes aberturas envidraçadas. O método da simulação é utilizado para avaliar o desempenho do edifício condicionado e o uso de simulação para ventilação natural e o aproveitamento da luz solar. Dessa forma, um edifício real foi simulado de acordo com a RTQ-C, com e sem sombreamento da envoltória e com e sem brises. Seu modelo de referência foi também simulado, com e sem sombreamento do entorno. Os resultados de consumo anual foram comparados para avaliar o potencial de economia de eletricidade de cada modelo em relação a duas opções de modelos de referência. Essas duas opções mostraram que o modelo de referência não deve possuir sombreamento no entorno para a simulação, devido a descaracterização que o modelo sofreria em seus objetivos – modelo de referência para comparação com outros casos cujas características primárias são comuns – e também estimular o sombreamento excessivo no edifício, prejudicando o resultado final por reduzir sua eficiência.

Batista *et al*. (2011) apresentaram um estudo para aplicação da RTQ-C do INMETRO através de simulação computacional em duas edificações comerciais no Brasil e discutiram a contribuição do sistema de etiquetagem para redução do consumo de energia. Para isso avaliaram o quesito envoltória para os dois casos e as alterações que poderiam ser implementadas para melhorar a eficiência das edificações. As melhorias escolhidas foram pintar as paredes e o teto de branco, além de utilizar vidro fumê nas aberturas. Essas medidas diminuíram os valores de absortância térmica para as paredes e o ganho térmico das aberturas devido à incidência de radiação solar. O estudo concluiu que as medidas contribuíram para que as duas edificações fossem certificadas com uma etiqueta A para o projeto da envoltória, mas que o consumo de energia não foi diminuído para os níveis esperados.

Lopes *et al*. (2011) mostraram análise da regulamentação de eficiência energética para edificações comerciais através do método da simulação. Um edifício comercial de três pavimentos localizado em Florianópolis (Zona Bioclimática 3) com função principal de escritório, áreas de circulação e banheiros foi avaliado através do método da simulação. Esse método permite uma maior flexibilidade no projeto da

edificação comparado ao método prescritivo. Mesmo que alguns pré-requisitos não sejam atendidos, isto pode ser compensado com outras estratégias de eficiência energética eficientes, que convergem para uma etiqueta satisfatória. A análise leva em conta três aspectos: a envoltória, iluminação e sistemas de condicionamento de ar. No método da simulação são criados modelos de referência com eficiência máxima e modelos com menos eficiência de acordo com a escala da regulamentação. O estudo de caso obteve etiqueta de eficiência energética "B", sendo que o principal responsável por diminuir a eficiência do edifício foi o sistema de iluminação que teve uma etiqueta "C", enquanto o sistema de condicionamento de ar obteve uma etiqueta "A". Sugere-se adotar uma estratégia que utilize sistemas para economizar água e aproveitamento de energia solar para alcançar bonificações e elevar a classificação geral do edifício.

Al-Sanea e Zedan (2011) mostrou um estudo sobre o posicionamento de materiais com características isolantes nas paredes. Os resultados mostraram que o material isolante posicionado no lado mais externo da parede durante os dias mais quentes, reduz a transferência de calor para o interior do ambiente. Em contrapartida, nos dias mais frios, o isolamento posicionado na face interna da parede diminuiu a necessidade de reaquecimento do ambiente.

2.1.1 Normatizações Técnicas

As primeiras normas em eficiência energética em edificações surgiram após a crise do petróleo, na década de 70, para diminuir o consumo de combustível para aquecimento das edificações. Com a conscientização do efeito sobre mudanças climáticas e a escassez dos recursos naturais, diversas outras regulamentações foram criadas a fim de se reduzir o consumo energético.

A NBR 15220 (ABNT, 2005a) é a norma técnica brasileira referente ao desempenho térmico de edificações. Ela descreve os métodos de cálculo de características termofísicas dos elementos e componentes da edificação intrínsecas as envoltórias, são elas: a transmitância térmica, a capacidade térmica, o atraso térmico e

o fator solar. Além do cálculo das características dos materiais construtivos, a norma define o zoneamento bioclimático das regiões do Brasil e descreve os métodos para a medição da resistência e condutividade térmica dos materiais.

No ano de 2008, a norma para instalações de ar condicionado, considerando sistemas centrais e unitários foi atualizada e passou a ser denominada ABNT NBR 16401:2008, subdividindo-se em três partes: projetos das instalações, parâmetros de conforto térmico e qualidade do ar interior. No que tange o cálculo de carga térmica a norma cita que as cargas devem ser calculadas em quantas horas diárias forem necessárias para determinar a carga máxima de cada zona e as cargas máximas simultâneas de cada unidade de tratamento de ar. O efeito dinâmico da massa da edificação sobre a carga térmica também deve ser considerado. Segundo a norma, este tipo de cálculo, exceto para sistemas muito simples, é inviável sem o auxílio de um programa de computador. Estes *softwares* devem efetuar seus cálculos através dos métodos TFM ou preferivelmente RTS.

A norma americana ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007: *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings* é utilizada como referência para diversas normas de outros países. Essa norma prevê exigências relativas à envoltória do edifício; aos sistemas e equipamentos para aquecimento, ventilação e condicionamento de ar; sistemas de aquecimento de água; sistemas de iluminação; e gerenciamento de energia.

A nova revisão da RTQ-C – Regulamentação Técnica de Qualidade – divulgada pelo INMETRO em 2010, visa esclarecer possíveis dúvidas sobre métodos de cálculo e aplicação de seu conteúdo. O manual fornece uma classificação de edifícios através da determinação da eficiência de três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Os três itens, mais bonificações, são reunidos em uma equação geral de classificação do nível de eficiência do edifício. É possível também obter a classificação de apenas um sistema, deixando os demais em aberto. Neste caso, no entanto, não é fornecida uma classificação geral do edifício, mas apenas do sistema analisado. A classificação da envoltória faz-se através da determinação de um conjunto

de índices referentes às características físicas do edifício. Componentes opacos e dispositivos de iluminação zenital são definidos como pré-requisitos enquanto as aberturas verticais são avaliadas através de equações. Estes parâmetros compõem a "pele" da edificação (como cobertura, fachada e aberturas), e são complementados pelo volume, pela área de piso do edifício e pela orientação das fachadas. A eficiência da iluminação é determinada calculando-se a densidade de potência instalada pela iluminação interna, de acordo com as diferentes atividades exercidas pelos usuários de cada ambiente. Quanto menor a potência utilizada, menor é a energia consumida e mais eficiente é o sistema, desde que garantidas às condições adequadas de iluminação. A classificação da eficiência do sistema de condicionamento de ar pode ser dividida em duas diferentes classes. Uma classe lida com sistemas individuais do tipo janela e *split*, já classificados pelo INMETRO. Desta forma, deve-se apenas consultar os níveis de eficiência fornecidos nas etiquetas do INMETRO para cada um dos aparelhos instalados na edificação para posteriormente aplicar o resultado na equação geral do edifício. Já a eficiência de sistemas de condicionamento de ar como os centrais, que não são classificados pelo INMETRO, devem seguir prescrições definidas no texto do regulamento. Assim, a classificação do nível de eficiência destes sistemas é mais complexa, pois sua definição depende da verificação de um número de requisitos e não pode ser simplesmente obtida pela consulta da etiqueta. Com a conclusão do cálculo da eficiência destes três sistemas (Iluminação, Condicionamento de ar e Envoltória), os resultados parciais são inseridos na equação geral para verificar o nível de eficiência global da edificação.

2.2 SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR

Barbosa *et al*. (2008) apresentam um algoritmo computacional genérico e flexível para simulação integrada de sistemas de climatização do tipo expansão indireta com edificações multizonas. Nesse algoritmo descreveu modelos matemáticos

para o sistema primário, compreendendo *chiller*, torre de resfriamento e bombas de circulação primária e de condensação. Para o sistema secundário, foram considerados modelos para a serpentina de resfriamento e desumidificação, umidificador, ventilador e caixa de mistura. Esses modelos matemáticos foram integrados ao programa de simulação de edificações Domus-Procel Edifica, permitindo a realização de simulação higrotérmica de edificações combinada à simulação do sistema de climatização. Um edifício de seis andares foi modelado com um sistema central de condicionamento de ar a água com condensação a água e outro sistema também por expansão indireta, mas com condensação a ar. Os resultados da simulação do sistema de climatização apresentaram uma diferença entre o consumo de energia do resfriador de líquido com condensação a água 13% menor que o consumo do resfriador de líquido com condensação a ar, porém levando-se em conta a bomba centrífuga para movimentação de água, torre de arrefecimento e ventiladores esta diferença de consumo entre os dois sistemas diminuiu para 1,6%. Além disso, observou-se que os efeitos da umidade (adsorção e dessorção) representam uma diferença de 4% no consumo de energia devido à transferência de calor pela envoltória e que quando estes efeitos não são levados em consideração pode ocorrer um valor de consumo de energia subestimado para a edificação.

Meissner *et al.* (2008) apresentaram uma metodologia de obtenção de curvas características para dois condicionadores de ar de pequeno porte para compará-los a outros quatro sistemas, utilizando-se de um programa de simulação energética de edificações. Primeiramente, apresenta-se o aparato experimental composto de um calorímetro calibrado, sensores, psicrômetro, sistema de aquisição de dados e *software* supervisório. Em seguida, os dados dos dois condicionadores de ar são apresentados e simulações são realizadas, mostrando-se o efeito das condições climáticas, externa e interna, no conforto térmico do ambiente e consumo de energia de resfriamento. Os resultados mostraram que a potência nominal dos sistemas não é suficiente para estimar o desempenho dos condicionadores em condições reais devido à grande variabilidade da capacidade de refrigeração e da eficiência energética em função dos estados termodinâmicos dos ambientes externo e interno. Adicionalmente, os

resultados mostraram que nem sempre o condicionador de ar com maior eficiência energética nominal será o que proverá menor consumo de energia em condições reais de utilização.

Pérez-Lombard *et al*. (2010) apresentaram uma síntese dos requisitos de eficiência energética e estratégias para redução do consumo de energia dos sistemas de condicionamento de ar em edifícios comerciais para diferentes países. A forma utilizada para atingir o objetivo foi a criação de um índice global de consumo de energia para o sistema de condicionamento de ar, dependente do número de horas em funcionamento, envoltória da edificação, orientação construtiva e taxas de ventilação. Este índice pode assumir um desempenho crescente de acordo com o aumento da severidade climática a qual a edificação está inserida. O estudo mostra também uma comparação entre os métodos prescritivos e auto-referência para se determinar qual o sistema de condicionamento de ar mais eficiente. A conclusão foi de que a utilização dos dois caminhos com o apoio de ferramentas de simulação computacional torna mais consistente a busca por um índice global de eficiência energética para os condicionadores de ar.

Pozza (2011) apresenta uma análise térmica e energética de uma edificação localizada na zona bioclimática um, que compreende as cidades mais frias do Brasil. A análise foi desenvolvida com o auxílio do programa de simulação dinâmica de edificações E+ em que foi determinado o consumo anual de energia elétrica da edificação, bem como o consumo do sistema de condicionamento de ar do tipo *split* com ciclo reverso. A partir dos resultados da simulação foram propostas modificações na envoltória do edifício e o uso de um sistema de condicionamento de ar com tecnologia VRF (fluxo de refrigerante variável) a fim de reduzir o consumo de energia pelo sistema de climatização e o número de horas de desconforto térmico. A utilização de vidros duplos de alta transmissividade, superfícies com cores de maior absortividade solar, lã de vidro nas paredes externas e internas duplas e placas de EPS (poliestireno expandido) no piso da edificação, apresentaram ótimos resultados, reduzindo o consumo total de energia elétrica em 18,2% com o consumo do sistema de climatização passando a representar apenas 29,6% do total de energia da edificação.

Após o aprimoramento da edificação foram selecionadas as máquinas com tecnologia VRF que atendessem a máxima carga térmica entre os dias de projeto ou arquivo climático sob determinadas condições. Os resultados obtidos com o sistema VRF apresentaram uma redução de 32,8% sobre o consumo de energia do sistema de climatização anterior, e de 9,2 % sobre o consumo total de energia elétrica da edificação. Com a melhoria na envoltória e o uso da tecnologia VRF para climatização o percentual de horas fora das zonas de conforto da ASHRAE foi menor do que os 4% estabelecido pela norma, quando considerado a temperatura operativa. As simulações com o sistema VRF acoplado à edificação comprovaram a capacidade desse sistema de economizar energia elétrica, além de apresentar o menor custo especifico da energia para aquecimento em relação aos sistemas radiante.

Pereira e Mendes (2012) desenvolveram modelos empíricos para avaliação de desempenho de quatro condicionadores de ar de janela do tipo expansão direta utilizando-se de resultados de medições em calorímetros de acordo com a norma ISO Standard 5151. Obtiveram-se correlações matemáticas para cada um dos quatro componentes do ciclo de refrigeração, que tornaram-se um modelo integrado para o desenvolvimento de um programa que foi validado com testes experimentais. Os modelos experimentais foram desenvolvidos e destinados à previsão do desempenho frigorífico de cada um dos quatro condicionadores de ar residenciais, capazes de prever o desempenho de refrigeração dos equipamentos através da temperatura de bulbo úmido do ambiente interno e da temperatura de bulbo seco do ambiente externo. Por fim, o modelo empírico foi integrado a um código de simulação higrotérmica e energética de edificações para avaliação numérica de desempenho de condicionadores de ar em situação de campo.

3 CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

Neste capítulo apresentam-se os principais conceitos necessários para a compreensão do significado e origem da carga térmica. A partir deste entendimento, são apresentados os principais métodos para o cálculo de carga térmica, com destaque para o CLTD e o método do balanço de energia A metodologia empregada pelo programa Domus-Procel Edifica e a aplicação dos métodos para os dois estudos de caso deste trabalho também são apresentados.

3.1 CARGA TÉRMICA

O principal objetivo do cálculo de carga térmica é estimar com a maior precisão possível a quantidade de calor transferida a uma edificação e suas origens, com o intuito de diminuir o consumo de energia, além de permitir o dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar eficientes e econômicos.

Observando-se os processos de transferência de calor e a variação da temperatura do ar num ambiente, três conceitos são necessários para se compreender o cálculo de carga térmica. De acordo com McQuinston *et al.* (2005) são eles: ganho térmico, carga térmica e calor extraído.

> *"O ganho térmico está relacionado diretamente com a energia transferida para o ambiente ou gerada internamente."*

Além da energia transferida diretamente, analisa-se a energia acumulada (iluminação, equipamentos e insolação) nas paredes e objetos através dos processos de transferência de calor por condução e radiação, mas que ainda não ocasionaram aumento na temperatura do ar contido no ambiente condicionado por convecção. Esse efeito de inércia tem grande importância quando se analisa a carga térmica com o decorrer do tempo e os materiais utilizados na construção da envoltória.

> *"A carga térmica é a parcela de energia que deve ser removida de um ambiente para manter a temperatura e umidade de projeto."*

Segundo McQuinston *et al.* (2005), somente quando o ar recebe a energia das paredes, janelas e equipamentos por convecção é que se considera como carga térmica absorvida pela zona térmica em questão.

A partir da carga térmica calculada e do dimensionamento dos condicionadores de ar, considera-se o conceito de calor extraído.

> *"O calor extraído é a porção de energia removida do ambiente através dos condicionadores de ar quando as condições do ambiente são mantidas constantes."*

O processo de geração, acúmulo e extração de carga térmica pode ser representado conforme a FIGURA 3.1.

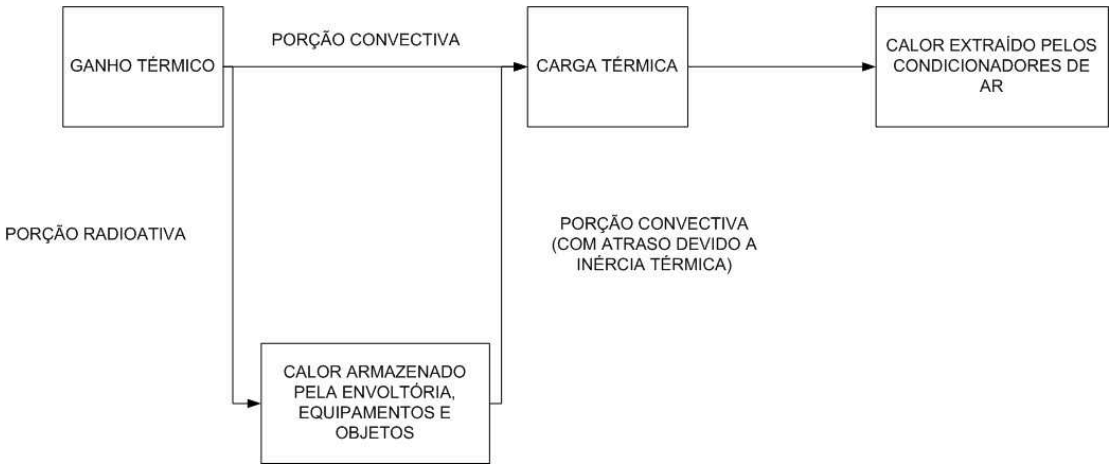


Figura 3.1 – Carga térmica (Adaptado de McQuiston *et al.,* 2005)

De acordo com o manual ASHRAE *Fundamentals* (1997), a carga térmica pode ser dividida em duas categorias: cargas externas e internas.

A carga térmica oriunda do meio externo é composta pelos ganhos térmicos que atravessam a envoltória da edificação na direção do ambiente condicionado, os principais fatores que contribuem para geração destes ganhos são:

- Ganho térmico através das paredes, piso e telhado;
- Ganho térmico por radiação solar transmitido através das aberturas;
- Ganho térmico por condução através das aberturas;
- Ganho térmico adquirido através de portas e paredes divisórias;
- Infiltração do ar externo no ambiente condicionado;

As principais fontes que contribuem para o aumento da carga térmica interna são:

- Ganho térmico gerado pelas pessoas;
- Ganho térmico gerado pela iluminação;
- Ganho térmico gerado por equipamentos;

A carga térmica resultante possui parcelas originadas pelo calor sensível e latente. De acordo com Incropera (2008) os conceitos de calor sensível e latente são:

> *"Calor Sensível é a parcela de energia que contribui para o aumento de temperatura da matéria."*
>
> *"Calor Latente é a parcela de energia necessária para alterar o estado físico da matéria."*

O calor sensível oriundo do meio externo é ocasionado pelos processos de transferência de calor por radiação e convecção, exceto infiltrações de ar. O calor transmitido por radiação através da envoltória permanece parcialmente armazenado na estrutura proporcionando duas parcelas de energia, onde uma é convertida em carga

térmica a partir do processo de convecção com o ar interno do ambiente e a outra será transferida com um atraso decorrente das propriedades dos materiais construtivos utilizados na envoltória.

A parcela de energia transferida com atraso devido ao efeito da inércia térmica é transferida diretamente da face interna da parede para o ar do ambiente por convecção. No entanto, a parede interna também recebe energia por radiação (radiação de onda longa) das outras paredes internas ou até mesmo radiação de onda curta (energia solar) se a radiação que atravessa uma superfície transparente (em frente a essa parede) a atinge. Essa energia é armazenada na parede num primeiro momento e transferida na sequência com atraso.

A FIGURA 3.2 apresenta um gráfico com a representação do efeito de inércia térmica de uma parede real (q_2) e de uma parede fictícia de peso nulo (q_1) e que, portanto, não sofreria nenhum atraso nem amortecimento, onde é possível visualizar um efeito de amortecimento quanto à energia e um atraso em relação à variável tempo.

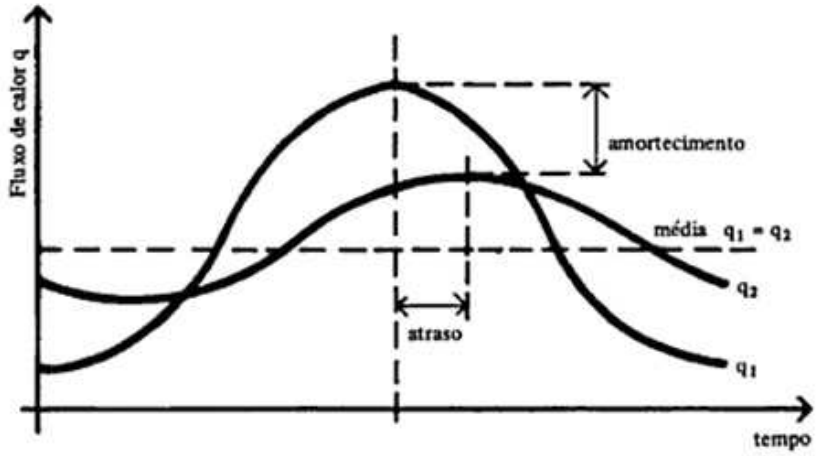


Figura 3.2 – Representação da inércia térmica – (Frota 2003)

Os ganhos térmicos latentes são ocasionados internamente pelas pessoas e equipamentos, enquanto a infiltração de ar contribui pelo meio externo. O ganho

térmico latente é considerado carga térmica instantânea de acordo com o manual ASHRAE *Fundamentals* (1997).

3.2 MÉTODOS DE CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA

A partir da conceituação de carga térmica torna-se necessário verificar os métodos disponíveis para o cálculo. Muitos métodos foram desenvolvidos com este objetivo, mas aqueles desenvolvidos para o regime transiente são os atualmente utilizados por projetistas e engenheiros. Desta forma o ponto de partida para o desenvolvimento dos métodos utilizados nesse trabalho é a equação do cálculo do ganho de calor, que leva em conta os efeitos da inércia térmica dos materiais construtivos além de considerar os efeitos da variação de tempo no cálculo.

Esta equação permite a avaliação do comportamento dos ganhos térmicos hora a hora, possibilitando determinar o pico de carga térmica máxima em relação ao tempo e independente dos valores absolutos de carga térmica para cada variável envolvida no processo.

De acordo com Kuehn *et al.* (1998), a equação (3.1), que é clássica da transferência de calor, rege a transferência de energia em cada camada interna *j* do material da envoltória, assumindo que as coordenadas na direção perpendicular da parede são representadas por *x,* é descrita por:

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = \alpha_j \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \tag{3.1}$$

onde T é a temperatura [K]; θ é o tempo [s]; α é a difusividade térmica [m²/s] e x é a distância [m], sendo a sua origem x=0 na face externa da envoltória.

A difusividade térmica é a propriedade que mede a capacidade do material de conduzir energia térmica em relação à sua capacidade de armazená-la, calcula-se a difusividade térmica pela equação (3.2):

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c_p} \tag{3.2}$$

onde α é a difusividade térmica [m²/s]; ρ é a massa específica do material [kg/m³]; k é a condutividade térmica - [W/(m.K)] e c_p é o calor específico do material da camada em questão [kJ/(kg.K)].

Os métodos desenvolvidos para avaliar a carga térmica diferem-se principalmente pelos procedimentos matemáticos empregados em cada um deles. Entre os mais difundidos e utilizados destacam-se: o TFM (*Transfer Function Method*), o TETD/TA (*Total Equivalent Temperature Difference/Time Averaging*), o CLTD (*Cooling Load Temperature Diference*), HBM (*Heat balance Method*) ou método do balanço de energia e o RTS (*Radiant Time Series*).

O método TFM desenvolvido por Mitalas (1972) é um procedimento que se baseia em cálculos computacionais através de transformadas de Laplace, divididos em duas etapas: inicialmente aplica-se uma série de fatores de peso para representar a inércia térmica de superfícies opacas no processo de condução de calor. Na segunda etapa, uma nova série de coeficientes é aplicada sobre os ganhos de calor e de cargas que possuem componentes radiantes. Esses coeficientes procuram representar o armazenamento de calor na envoltória da edificação e objetos no seu interior, antes de transferi-los ao ar como carga térmica a ser removida pelo condicionador de ar. Uma desvantagem deste método é a linearização da radiação que corresponde a uma parcela importante da carga oriunda do meio externo.

O método TETD/TA, segundo o manual ASHRAE *Fundamentals* (1997), deriva do TFM e é utilizado para o cálculo manual da carga térmica através da envoltória. O método utiliza a equação básica de transferência de calor através de uma superfície opaca utilizando-se valores de TETD no lugar da diferença entre temperatura externa e interna. Os valores de TETD são tabelados para determinados componentes construtivos, determinada latitude, temperatura interna média, temperatura externa máxima e variação de temperatura externa. Segundo Hill e

Furlong (1973) a precisão do método TETD/TA é maior para paredes e coberturas mais pesadas.

O método CLTD escolhido para esse trabalho foi desenvolvido por Rudoy e Duran (1975), através de dados obtidos na aplicação do método TFM – *Transfer Function Method* – a um grupo de materiais construtivos comumente empregados nas edificações americanas para gerar uma série de dados de diferenciais de temperatura para carga térmica (CLTD). Estes dados são valores tabelados para paredes, piso e telhados de acordo com padrões construtivos norte-americanos e latitude de 40° N. Este método possibilita a aplicação direta da equação básica de transferência de calor para obter-se a carga térmica de condução.

O HBM (método do balanço de energia) tem como objetivo analisar os ganhos e as perdas de calor através dos componentes opacos, originados para cargas internas e cargas para o envelope, utilizando-se a primeira lei da termodinâmica. A técnica do balanço de energia está baseada em quatro etapas: balanço térmico na superfície externa da parede, condução de calor através da parede, balanço térmico na superfície interna da parede e balanço térmico no ar interno Strand *et al.* (2001).

O RTS (*Radiant Time Series)*, de acordo com Spitler *et al.* (1997), foi desenvolvido em resposta a um desejo de oferecer um método preciso para o cálculo de carga térmica de pico e que não exigisse os cálculos iterativos. Este método é uma simplificação do método do balanço de energia para aplicação através de planilhas eletrônicas ou programas computacionais.

A norma ABNT NBR 16401:2008 orienta a utilização do método CLTD para o cálculo de carga térmica em edificações de pequeno porte e simulação computacional para os casos mais complexos. Neste trabalho, utilizam-se os método CLTD para estimar a carga térmica de pico no primeiro estudo de caso e o balanço de energia para efetuar o cálculo através de simulação computacional no programa Domus-Procel Edifica (MENDES *et al.*, 2003) e, portanto, uma descrição detalhada de ambos é apresentada na sequência.

3.3 CLTD – *Cooling Load Temperature Difference*

Este método utiliza um procedimento de cálculo manual e direto. Ele considera o ganho de calor por condução através da envoltória submetida à insolação direta como também através das superfícies translúcidas.

O método assume que uma parcela do ganho térmico sensível é convectivo, fato que ocasiona para o ambiente um incremento de carga térmica instantânea, e o restante é radiativo. A parcela do ganho térmico sensível absorvido por radiação fica armazenada por um determinado tempo na estrutura, tornando-se carga térmica a partir do processo de transferência por convecção que ocorre após um atraso de tempo que varia de acordo com os materiais construtivos da edificação ou objetos da zona térmica. Para a envoltória, Kuehn *et al.* (1998) considera que a porção de calor devida à radiação corresponde a 60% dos ganhos térmicos totais, enquanto os 40% restantes são calor transferido por convecção.

De acordo com Kuehn *et al.* (1998), a CLTD é a soma entre a parcela convectiva multiplicada pela diferença de temperatura padronizada do elemento construtivo TETD e a parcela radiativa que é dividida por um fator *N,* o qual varia de acordo com o tipo de elemento construtivo, e multiplicada por TETD.

$$ICT_{\tau} = U \times A\left[(\%conv.) \times TEDT_{\tau} + \frac{\%rad.}{N} \times \sum_{n=0}^{N} TEDT_{\tau - n\Delta\tau} \right] \tag{3.3}$$

onde ICT_{τ} é a carga térmica obtida através de um elemento construtivo num determinado instante – [W]; U é o coeficiente global de transferência de calor da parede - [W/(m².K)]; A é a área da superfície - [m²] e $TETD$ é a diferença de temperatura padronizada entre as duas faces do elemento construtivo - [K].

Os valores tabelados para os coeficientes CLTD foram calculados com base nos materiais construtivos americanos, dados climáticos para o dia 21 de julho considerando céu claro na cidade de Denver (EUA), que está localizada numa latitude de 40° N.

Conforme a ASHRAE (1997), as equações para cálculo de carga térmica através do método CLTD são divididas em duas partes: cargas originadas pelo meio externo e interno do ambiente.

3.3.1 Carga Térmica Oriunda do Meio Externo

As equações de acordo com Kuehn *et al.* (1998) para aplicação do cálculo de carga térmica no meio externo são:

- **Superfícies opacas externas (paredes, portas, teto e piso):**

$$ICT_{env} = U \times A(CLTD) \tag{3.4}$$

onde ICT_{env} é a carga térmica obtida através das superfícies opacas da envoltória [W]; U é o coeficiente global de transferência de calor da parede [W/(m².K)]; A é a área da superfície [m²] e $CLTD$ é o coeficiente relativo a diferença de temperatura de carga de resfriamento da parede [K].

- **Superfícies Transparentes externas (janelas e superfícies translúcidas):**

$$ICT_{abe} = (A \times SC \times SCL) + (U \times A \times CLTD) \tag{3.5}$$

onde ICT_{abe} é a carga térmica obtida através das aberturas [W]; A é a área da superfície [m²]; SC é fator de sombreamento [-] ; SCL é fator de carga solar [W/m²]; U é o coeficiente global de transferência de calor do vidro e CLTD é o coeficiente da diferença de temperatura de carga de resfriamento para o vidro [-].

Neste caso, a equação refere-se à carga térmica por condução e radiação solar absorvida e transmitida pelo vidro para o ambiente interno.

- **Ventilação e infiltrações de ar:**

$$ICT_{vent} = 1{,}20 \times Q \times (h_0 - h_i) \tag{3.6}$$

onde ICT_{vent} é a carga térmica oriunda da ventilação e infiltrações [W]; Q é a vazão volumétrica de ar devido à ventilação [m³/h]; h_0 é a entalpia do ar externo [kJ/kg] e h_i é a entalpia do ar interno [kJ/kg].

3.3.2 Carga Térmica Oriunda do Meio Interno

As equações de acordo com Kuehn *et al.* (1998) para aplicação do cálculo de carga térmica no meio interno são:

- **Superfícies opacas internas (divisórias, teto e piso):**

$$ICT_{pcf} = U \times A \times \left(T_{adj} - T_{\text{int}}\right) \tag{3.7}$$

onde ICT_{pcf} é a carga térmica obtida através de divisórias, teto e piso [W]; U é o coeficiente global de transferência de calor da parede [W/(m².K)]; A é a área da superfície - [m²]; T_{adj} é a temperatura do ambiente adjacente - [K] e T_{int} é a temperatura interna do ambiente condicionado - [K].

- **Iluminação:**

$$ICT_{ilum} = IGT_{lamp,\tau} \times F_{UL} \times F_{SA} \times CLF \tag{3.8}$$

onde ICT_{ilum} é a carga térmica oriunda da iluminação artificial [W]; $IGT_{lamp,\tau}$ é o ganho térmico da lâmpada [W]; F_{UL} é o fator de uso [-]; F_{SA} é o fator de permissividade especial [-] e o CLF é fator de carga térmica [-].

A carga térmica oriunda da iluminação tem natureza convectiva e radiativa, a parcela convectiva é considerada carga térmica instantânea enquanto o restante da carga radiativa (ou radiante) fica armazenado na estrutura por um tempo para depois tornar-se carga térmica através, mais uma vez, do processo de convecção.

- **Equipamentos:**

$$ICT_{equip,\tau} = IGT_{equip,\tau} \times CLF \tag{3.9}$$

onde $ICT_{equip,\tau}$ é a carga térmica instantânea oriunda de equipamentos [W]; $IGT_{equip,\tau}$ é o ganho térmico instantâneo do equipamento [W] e o CLF é fator de carga térmica [-].

- **Pessoas:**

Para calcular a carga térmica gerada pelas pessoas, devem-se considerar porções de carga sensível e a parcela latente. Segundo a ASHRAE (1997), a carga térmica latente gerada pelas pessoas é considerada ganho térmico instantâneo. As equações para calcular a carga térmica são apresentadas abaixo:

Carga térmica Sensível:

$$ICT_{p,sensivel} = N_p \times IGT_{sensivel,\tau} \times CLF \tag{3.10}$$

onde $ICT_{p,sensível}$ é a carga térmica sensível oriunda de pessoas [W]; N_p é a quantidade de pessoas no ambiente [-]; $IGT_{sensivel,\tau}$ é o ganho térmico sensível gerado pelas pessoas [W] e o CLF é fator de carga térmica [-].

Carga térmica latente:

$$ICT_{p,latente} = N_p \times IGT_{latente,\tau} \times CLF \tag{3.11}$$

onde $ICT_{p,latente}$ é a carga térmica latente oriunda de pessoas [W]; N_p é a quantidade de pessoas no ambiente [-]; $IGT_{latente,\tau}$ é o ganho térmico latente gerado pelas pessoas [W] e o CLF é fator de carga térmica [-].

Os valores de CLF considerados neste trabalho foram retirados da tabela 37, zona B e tempo de permanência de 10 horas.

De maneira geral os valores dos coeficientes CLTD foram calculados para as condições climáticas do dia 21 de julho considerando céu claro numa latitude de 40°

N. O procedimento descrito no manual ASHRAE *Fundamentals* (1997) e indicado pela norma ABNT NBR 16401:2008, orienta que os valores de CLTD devem ser aplicados diretamente nas seguintes condições: temperatura do ambiente interno de 25,5°C; temperatura externa máxima de 35 °C, com uma média de 29,5°C e uma variação durante o dia de 11,6°C; condições de radiação solar e céu claro para o vigésimo primeiro dia do mês; resistência térmica da camada de ar da superfície externa da parede de 0,059 m².K/W; resistência térmica da camada de ar da superfície interna da parede de 0,121 m².K/W e caso uma parede fique constantemente sombreada durante todas as horas do dia, deve-se considerar a orientação norte para os valores tabelados.

Para as demais situações, os fatores podem ser corrigidos através da equação (3.12):

$$CLTDcorr = CLTDtab + (25{,}5°C - T_{int}) + (T_0 - 29{,}4°C) \tag{3.12}$$

onde $CLTD_{corr}$ é o coeficiente CLTD corrigido [K]; $CLTD_{tab}$ é o coeficiente CLTD encontrado nas tabelas do manual ASHRAE *Fundamentals* (1997) [K]; T_0 é a temperatura de bulbo seco máxima [K] e T_{int} é a temperatura interna do ambiente a ser condicionado [K].

3.4 MÉTODO DO BALANÇO DE ENERGIA

O método do balanço de energia é dividido em quatro etapas: o balanço térmico na face externa da parede, processo de condução através da parede, balanço térmico na face interna da parede e balanço térmico com o ar da zona térmica.

Na primeira etapa, o principal objetivo desse balanço é determinar a temperatura da superfície externa da parede. A segunda etapa determina a transferência de calor por condução levando em conta as temperaturas das superfícies externa e interna da parede.

A terceira etapa serve para determinar a temperatura da face interna da parede, necessária para calcular a transferência de calor por condução e também o balanço térmico com o ar da zona térmica.

Na última etapa, o método considera uma equação de balanço para determinar a carga térmica do ambiente.

A FIGURA 3.3 apresenta o processo em detalhes.

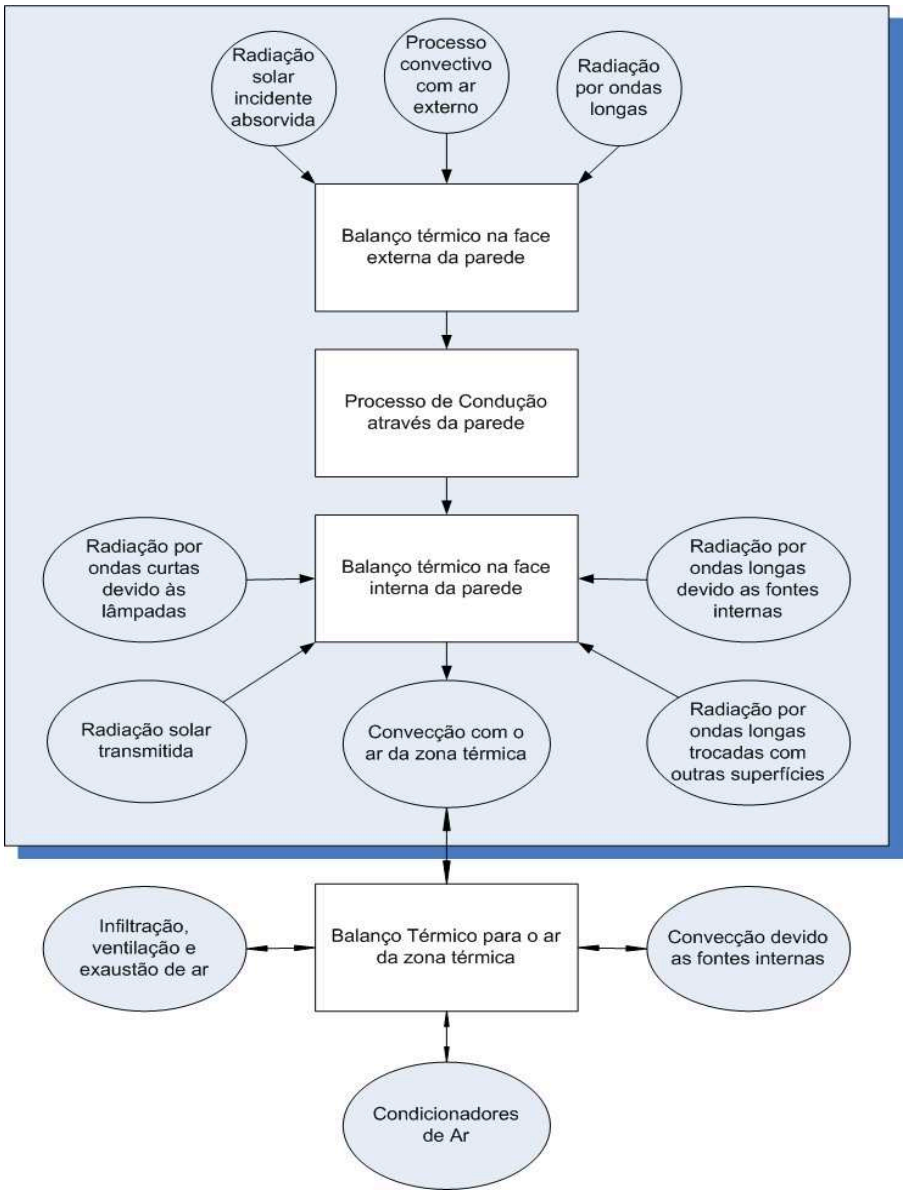


Figura 3.3 – Carga térmica via método do balanço de energia (Spitler, 2010)

O método do balanço de energia pode ser dividido nas equações do balanço térmico sensível das paredes, carga térmica sensível gerada internamente, carga térmica latente gerada internamente e balanço térmico sensível do volume de ar contido no ambiente.

A equação do balanço térmico sensível para a envoltória considera que qualquer superfície externa das paredes de uma zona térmica é suscetível a transferência de calor por condução instantânea através das condições do ambiente externo e paredes adjacentes. As superfícies internas também recebem radiação solar de ondas curtas através das aberturas e por ondas longas através das outras superfícies do interior, onde estão posicionadas as luminárias, equipamentos e ocupantes. A transferência térmica por convecção está presente entre as superfícies internas e o volume de ar contido na sala.

De acordo com McQuinston *et al.* (2005), o balanço de energia pode ser representado pelas equações de balanço para condução na superfície externa das paredes, condução nas paredes internas e convecção para o ar interno do ambiente.

A equação que representa o processo de condução nas paredes externas da zona térmica num determinado instante de tempo θ, é apresentada a seguir.

$$q''_{condução,ext,j,\theta} = q''_{solar,ext,j,\theta} + q''_{convecção,ext,j,\theta} + q''_{radiação,ext,j,\theta} \tag{3.13}$$

onde $q''_{condução,ext,j,\theta}$ é o fluxo de calor por condução instantâneo na superfície externa da parede [W/m²]; $q''_{solar,ext,j,\theta}$ é o fluxo de energia solar absorvida num determinado instante [W/m²]; $q''_{convecção,ext,j,\theta}$ é o fluxo de calor por convecção instantâneo [W/m²] e $q''_{radiação,ext,j,\theta}$ é o fluxo de calor por radiação térmica instantâneo devido a insolação [W/m²].

A equação (3.13) representa o processo de condução do calor em uma parede no sentido externo para interno. A FIGURA 3.4 apresenta o comportamento das variáveis envolvidas no processo com o objetivo de mostrar que a temperatura da superfície externa da parede é o resultado esperado.

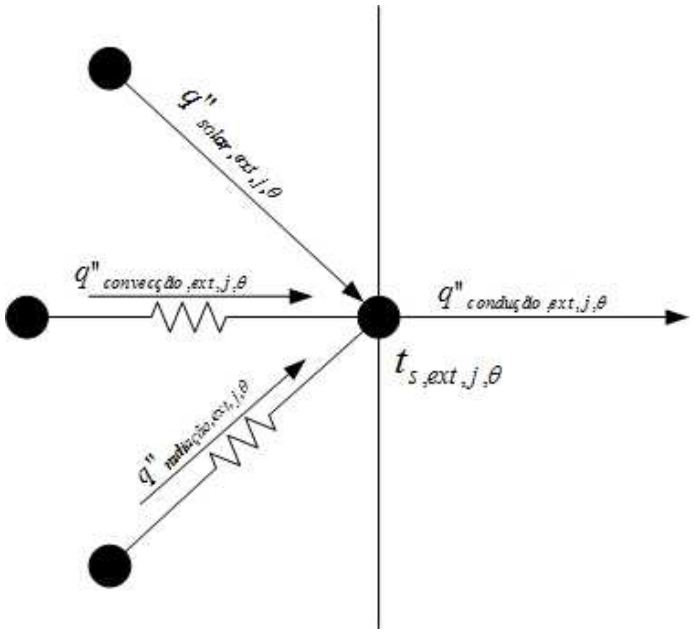


Figura 3.4 – Fluxo térmico através da superfície externa (McQuinston et al. 2005)

A equação que representa o balanço de energia na superfície interna das paredes da zona térmica, de acordo com McQuinston *et al.* (2005), é apresentada abaixo.

$$q''_{condução,\text{int},j,\theta} = q''_{solar,\text{int},j,\theta} + q''_{convecção,\text{int},j,\theta} + q''_{radiação,\text{int},j,\theta} \tag{3.14}$$

onde $q''_{condução,\text{int},j,\theta}$ é o fluxo de calor por condução instantâneo na superfície interna da parede [W/m²]; $q''_{solar,\text{int},j,\theta}$ é o fluxo de energia solar absorvida internamente num determinado instante [W/m²]; $q''_{convecção,\text{int},j,\theta}$ é o fluxo de calor por convecção interno e instantâneo [W/m²] e $q''_{radiação,\text{int},j,\theta}$ é o fluxo de calor por radiação térmica interna e instantâneo devido a insolação [W/m²].

A equação (3.14) representa o processo de condução no sentido de dentro para fora da parede de uma zona térmica. A FIGURA 3.5, ilustra o processo apresentando como resultado uma temperatura da superfície interna da parede num determinado instante.

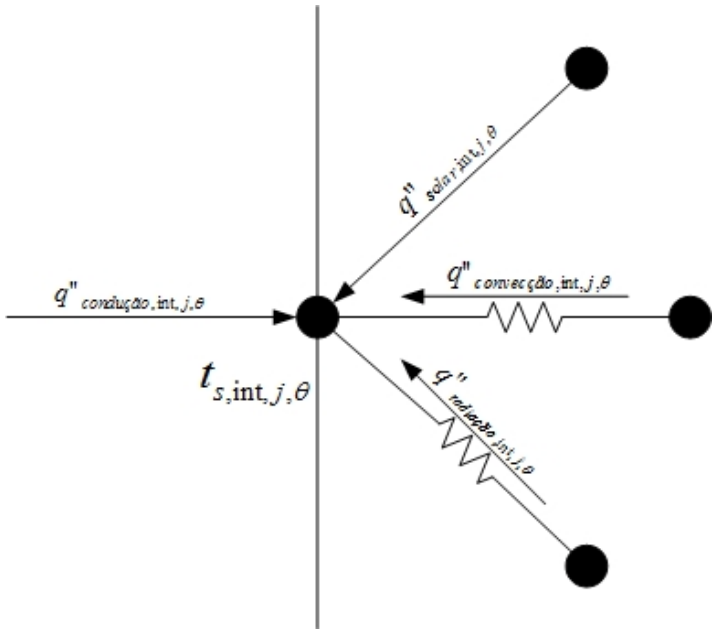


Figura 3.5 – Fluxo térmico através da superfície interna (McQuinston et al. 2005)

Uma vez determinadas as temperaturas das superfícies interna e externa das paredes, com base nas equações (3.13) e (3.14), é possível calcular o balanço energético total num determinado instante para a zona térmica através da equação (3.15).

$$\sum_{j=1}^{N} A_j \cdot \left(q''_{convecção,\text{int},j,\theta}\right) + q_{\text{inf}\,iltração,\theta} + q_{equipamentos,\theta} + q_{ilum,\text{int},\theta} + q_{pessoas,\text{int},\theta} = 0 \qquad (3.15)$$

onde $q''_{convecção,\text{int},j,\theta}$ é o fluxo de calor por convecção instantâneo ocasionado pelas paredes [W/m²]; $q_{\text{inf}\,iltração,\theta}$ é a taxa de transferência de calor por infiltração de ar externo num determinado instante [W]; $q_{equipamentos,\theta}$ é a taxa de transferência de calor por convecção proporcionado pelos equipamentos instalados [W]; $q_{ilum,\text{int},\theta}$ é a taxa de transferência de calor por convecção ocasionado pela iluminação [W], $q_{pessoas,\text{int},\theta}$ é a taxa de transferência de calor por convecção ocasionado pelas pessoas e A_j é a área das paredes internas da zona térmica.

Para utilizar o método do balanço de energia no cálculo de carga térmica, se faz necessário calcular todas as equações que fazem parte do processo simultaneamente para cada instante. Desta forma, o processo torna-se complexo e devido ao grande número de variáveis, o ideal é que se traduza todo este equacionamento dentro de um programa computacional para analisar os casos através de simulação numérica.

3.4.1 Programa de Simulação Higrotérmica e Energética de Edificações - *Domus*

O programa de simulação termoenergética de edificações escolhido para realizar as análises desejadas no presente trabalho foi o Domus-Procel Edifica (Mendes *et al,.* 2003), devido a utilização do método do balanço de energia para calcular a carga térmica. Através deste programa é possível determinar a carga térmica para o dimensionamento do sistema de condicionamento de ar, o consumo energético da edificação, as condições de conforto de cada zona térmica, bem como avaliar a influência de diferentes parâmetros construtivos sobre o consumo energético e sobre o conforto térmico. O programa também permite aos projetistas e engenheiros avaliar qual o melhor sistema de condicionamento de ar a ser selecionado para cada tipo específico de construção.

Os dados de entrada são os materiais utilizados na envoltória do edifício, tipo e quantidade de equipamentos, quantidade de pessoas e atividades que estão desempenhando, carga devido à iluminação e infiltração de ar. A condição de contorno externa é o arquivo climático do local e as saídas são o consumo de energia, ganhos térmicos e a carga térmica. O programa pode gerar outras opções de saída como índices de conforto térmico (PMV e PMD), temperatura e umidade interna entre outras.

Segundo Mendes *et al.* (2003), o Domus-Procel Edifica utiliza um modelo matemático dinâmico para a análise do comportamento higrotérmico de uma edificação considerando os efeitos de inércia térmica e umidade nas paredes. A

FIGURA 3.6 apresenta os principais elementos para a simulação termoenergética utilizados no programa.

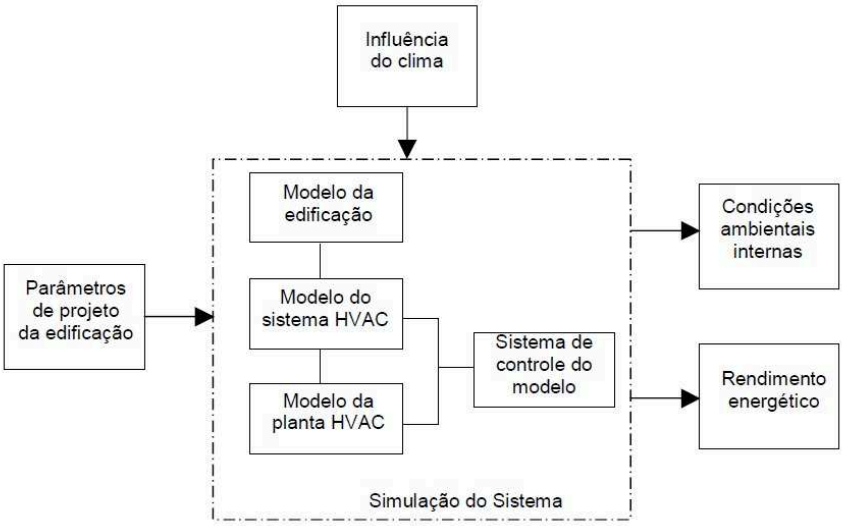


Figura 3.6 – Elementos de uma simulação energética de edificações (Adaptado de Barbosa 2006)

O método empregado pelo programa para o cálculo de carga térmica é o balanço de energia. A primeira etapa do método utilizado pelo *software* é justamente calcular a temperatura média da superfície interna das paredes da zona térmica.

O programa utiliza a equação (3.16) para realizar o balanço energético de uma zona térmica. Nesta equação são considerados os efeitos da transferência de calor realizada por condução, convecção, radiação solar por ondas curtas, radiação solar por ondas longas, infiltração, ventilação e cargas causadas pelos condicionadores de ar.

$$\dot{E}_t + \dot{E}_g = \rho_{ar} c_{ar} V_{ar} \frac{dT_{\text{int}}}{dt} \tag{3.16}$$

onde $\dot{E}_t$ é a taxa de transferência de energia através das paredes [W]; $\dot{E}_g$ é a taxa energia gerada internamente [W]; ρ_{ar} é a massa específica do ar [kg/m³]; V_{ar} é o

volume de ar do ambiente [m³]; T_{int} é a temperatura interna do ambiente a ser condicionado [K] e t é o tempo [s]

Analisando-se o primeiro termo da equação (3.16), nota-se que o fluxo de energia através das paredes inclui as cargas associadas à envoltória da edificação (transferência de calor sensível), cargas causadas por radiação solar e aberturas (infiltração e ventilação). A parcela referente à energia gerada internamente origina-se das cargas geradas pelos equipamentos, condicionadores de ar, pessoas e iluminação. O segundo termo da equação é exatamente a carga térmica resultante para a zona térmica em análise.

A carga térmica oriunda da envoltória, transferida por condução e convecção, é calculada através da equação (3.17).

$$Q_{wall,S}(t) = \sum_{i=1}^{m} h_{c,i} A_i \left[T_{i,x=L}(t) - T_{\text{int}}(t) \right] \tag{3.17}$$

onde $Q_{wall,S}$ é o calor sensível [W]; A_i é a área da superfície de troca [m²]; h_c é o coeficiente de convecção do ar [W/(m².K)]; T_{int} é a temperatura da superfície interna da parede [K] e $T_{i,x=L}$ é a temperatura da superfície externa da parede [K].

A parcela referente a carga térmica latente oriunda da envoltória é desprezada, pois não são considerados os efeitos de umidade na parede.

De acordo com Mendes *et al.* (2003), o Domus-Procel Edifica utiliza a técnica de volumes finitos para calcular a energia transferida por condução nas paredes. Este método fundamenta-se em uma abordagem física do problema representado pela EDP, o seu desenvolvimento está intrinsecamente ligado ao conceito de fluxo entre regiões, ou volumes adjacentes, onde o fluxo de uma grandeza, como massa ou energia, é a quantidade dessa grandeza que atravessa uma fronteira. A quantidade líquida seja ela massa ou energia que atravessa um volume de controle por unidade de tempo é calculada pela integração, da diferença entre os fluxos que entram e os que saem do volume de controle, o que é obtido de forma mais geral pela integração das EDPs.

Este método divide a estrutura interna da envoltória em um determinado número de seções. Um nó fictício *i* é localizado no centro ou superfície de cada seção, onde um balanço de energia é executado para cada nó selecionado durante um intervalo de tempo, resultando na equação (3.18) que pode ser utilizada para determinar a temperatura de cada nó em relação às temperaturas nodais vizinhas.

$$q_{i+1\to i} = \frac{kA_i\left[T_{i+1}^{t} - T_1^{t}\right]}{\Delta x} \tag{3.18}$$

onde k é a condutividade térmica [W/(m.K)]; A é a área da superfície perpendicular a direção do fluxo de calor [m²]; T é a temperatura [K] e Δx é a distância entre os nós [m].

Utilizada em diversos programas de simulação de carga térmica para edificações, esta técnica pode solucionar problemas de condução de calor transiente considerando uma ou múltiplas camadas da envoltória analisada. Neste caso as variáveis de estado são as temperaturas nodais, as temperaturas do meio interno e externo à parede são as entradas, e as saídas são os fluxos de calor em ambas as faces.

Segundo Santos e Mendes (2004) a equação (3.19) é a resultante do balanço de energia:

$$T_{s,\mathrm{int},j,\theta} = \frac{(\alpha - \beta \times T_0) \times e^{\frac{-\beta.t}{\gamma}} - \alpha}{-\beta} \tag{3.19}$$

onde $T_{s,\mathrm{int},j,\theta}$ é a temperatura média instantânea da superfície interna da parede [K]; α é o calor transferido para o ar interno por convecção [W]; β é um fator de cálculo com base na área das paredes internas e o fator de convecção interno [W/K]; γ é um fator de cálculo baseado no volume do ar interno [W/K] e T_0 é a temperatura da superfície interna inicial da parede [K].

O fator α é calculado pela equação (3.20).

$$\alpha = \sum_{i=1}^{6} h_i \times A_i \times T_{s,\text{int}} \tag{3.20}$$

onde h_i é coeficiente de convecção interno [W/(m².K)]; A_i é a área interna da parede [m²] e $T_{s,\text{int}}$ é a temperatura da superfície interna da parede [K].

O fator β é determinado pela equação (3.21).

$$\beta = \sum_{i=1}^{6} h_i \times A_i \tag{3.21}$$

E o fator γ é calculado através da equação (3.22).

$$\gamma = \rho_{ar,\text{int}} \times V_{\text{int}} \times C_{p,ar,\text{int}} \tag{3.22}$$

onde $\rho_{ar,\text{int}}$ é a densidade do ar interno [kg/m³]; V_{int} é o volume interno do ambiente [m³] e $C_{p,ar,\text{int}}$ é o calor específico do ar interno [kJ/(kg.K)].

Detalhes sobre os modelos do Domus-Procel Edifica para cálculo de transferência de calor e de umidade através de envoltórios podem ser vistos em Mendes *et al.* (2002), Mendes *et al.* (2003b) e Santos *et al.* (2005).

3.5 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS

Para aplicar os métodos de carga térmica, são obedecidos os critérios da norma brasileira ABNT NBR 16401 que orienta a utilização dos métodos CLTD para casos mais simples com baixo número de zonas térmicas e a utilização de simulação computacional para todos os demais.

O interesse pelo método CLTD surge analisando-se a condição real de diversas aplicações em edificações comerciais com área inferior a 500 m² onde a carga térmica é calculada por este método.

Verifica-se que os coeficientes CLTD tabelados e apresentados no manual ASHRAE *Fundamentals* (1997), foram calculados com base nos materiais construtivos americanos, dados climáticos para o dia 21 de julho considerando céu claro na cidade de Denver (EUA), que está localizada numa latitude de 40° N. Este fato, por si só, já é motivo para questionar a precisão dos resultados obtidos mediante sua aplicação e avaliar as consequências quanto ao dimensionamento dos condicionadores de ar e o respectivo consumo de energia elétrica.

O método do balanço de energia é a técnica que considera o maior número de variáveis envolvidas e que busca reproduzir de maneira mais fidedigna da realidade o processo de ganhos térmicos e carga térmica de uma edificação. A utilização deste método requer um programa computacional para calcular e simular todas as variáveis envolvidas e suas condições de dependência entre si. Neste sentido o uso do programa de simulação higrotérmica Domus-Procel Edifica (MENDES *et al.*, 2003) apresenta algumas vantagens por disponibilizar em sua biblioteca os arquivos climáticos das principais cidades brasileiras, materiais construtivos mais utilizados nas edificações do país e também por estar adaptado aos requisitos do processo de etiquetagem de eficiência energética para edificações públicas e comerciais, conforme a RTQ-C do INMETRO.

4 CONDICIONADORES DE AR

Neste capítulo define-se o que é um condicionador de ar e as diferentes formas de classificação. A partir desta diferenciação, as características de funcionamento dos equipamentos utilizados e a modelagem matemática para a simulação computacional é mostrada em detalhes. A conceituação do coeficiente de desempenho dos equipamentos – COP – é apresentada também em virtude da utilização deste conceito para realizar parte da análise realizada neste trabalho.

O condicionador de ar, segundo Howell *et al.* (1998), é o equipamento responsável pelo processo de tratamento do ar que controla simultaneamente sua temperatura, umidade, pureza e movimento; com o objetivo de atender um ambiente condicionado. Para atingir este objetivo, os equipamentos precisam controlar os processos de resfriamento, umidificação, desumidificação e aquecimento do ar.

Quanto à forma de classificar os condicionadores de ar, Howell, *et al.* (1998) utilizam dois diferentes critérios: tipo de aplicação e características construtivas.

Para o critério referente ao tipo de aplicação, os condicionadores de ar podem ser utilizados para conforto térmico ou para condicionamento de processos. Os equipamentos aplicados com a finalidade de proporcionar conforto térmico devem fornecer aos ocupantes um ar com temperatura e pureza suficientes para gerar conforto e saúde durante a execução das atividades. Por outro lado, os condicionadores de ar para processos devem fornecer ar controlado dentro de faixas de temperatura, umidade e pureza com o objetivo de atender processos de manufatura, estocagem ou especiais.

As características construtivas dos condicionadores de ar determinam a separação dos equipamentos em sistemas de condicionamento de ar unitários, sistemas centrais e sistemas de recuperação de energia.

Os sistemas individuais ou unitários são empregados na maioria das vezes, para condicionar apenas um único ambiente. Estes equipamentos utilizam o processo de compressão mecânica de vapores, onde um fluido refrigerante é utilizado para realizar o transporte do calor entre o ambiente e o lado externo. Os equipamentos são

dotados de ventiladores para movimentação e pressurização do ar, trocadores de calor do tipo evaporador (ambiente condicionado) e condensador (meio externo), compressor e um dispositivo de expansão para alterar as propriedades termodinâmicas do fluido refrigerante.

Os sistemas centrais podem ser divididos em sistemas a água por expansão indireta e central a ar por expansão direta. A aplicação destes arranjos é feita são para atender demandas maiores de condicionamento de ar, normalmente em mais de uma zona térmica ao mesmo tempo. Os sistemas centrais a água empregam um sistema primário e um secundário no seu arranjo, onde o sistema primário é responsável pelo resfriamento de um fluido intermediário (normalmente água), enquanto o sistema secundário utiliza este fluido para realizar a troca térmica com o ar do ambiente que necessita de condicionamento. Dentre os sistemas centrais por expansão direta, destaca-se o *multi-split* ou VRF (Volume de Refrigerante Variável) e os condicionadores de ar do tipo *self-contained.*

O equipamento *multi-split* consiste em uma unidade condensadora externa e de diversas unidades evaporadoras localizadas nos ambientes que se deseja condicionar. Na unidade externa localiza-se um trocador de calor para condensação e um compressor com velocidade de rotação variável capaz de modular a vazão de refrigerante para o restante do sistema. As unidades internas possuem um evaporador e válvula de expansão eletrônica que tem como função manter o valor do superaquecimento constante. Os dois equipamentos juntos operam de forma a acompanhar a evolução da carga térmica de refrigeração ou aquecimento de cada zona climatizada, a fim de manter a temperatura do ar o mais próximo possível da temperatura desejada.

Os condicionadores de ar do tipo *self-contained* são conhecidos assim devido a uma característica construtiva onde os compressores são montados dentro da unidade evaporadora e o condensador é apenas um equipamento remoto. As unidades *self-contained* podem alcançar até 50 TR de capacidade frigorífica e ventiladores que suportam instalações com rede de dutos.

Os sistemas de recuperação de energia a ar proporcionam o controle das condições psicrométricas do ar interno, através de trocadores ar/ar, roda entálpica, sistemas evaporativos e desumidificadores a base de dissecante. Estes equipamentos costumam ser de grande porte e sua construção envolve o uso de diversos sistemas para resfriamento, aquecimento, umidificação e desumidificação ao mesmo tempo. Uma característica destas máquinas é o reaproveitamento da energia do ar interno ou externo durante o processo de tratamento, que na maioria das vezes oferece um custo de operação muito mais baixo para estas máquinas. A distribuição através de dutos e controle de vazão por dampers ou caixas VAV – Volume de Ar Variável – também são considerados parte do sistema.

Neste trabalho, utilizam-se condicionadores de ar unitários de expansão direta, sistemas centrais a ar por expansão direta do tipo self-contained e sistemas centrais a água por expansão indireta.

4.1 CONDICIONADORES DE AR UNITÁRIOS

Os condicionadores de ar unitários utilizados neste trabalho são para conforto térmico com arranjo do tipo *split*, onde um evaporador é instalado dentro do ambiente que se deseja condicionar e uma unidade condensadora é instalada no lado externo para rejeitar o calor absorvido dentro da zona térmica.

Além disso, o *split* possui uma característica construtiva relevante que é a posição do compressor dentro da unidade condensadora, diferentemente do *self-contained*. Na unidade evaporadora localizam-se apenas o ventilador, o trocador de calor e o dispositivo de expansão responsável pela queda de pressão e temperatura do fluido refrigerante. É importante ressaltar que estes condicionadores de ar não suportam instalações com rede de dutos salvo máquinas especiais.

Essas máquinas operam com base no ciclo de compressão mecânica de vapores, também conhecido como expansão direta e apresentado na FIGURA 4.1.

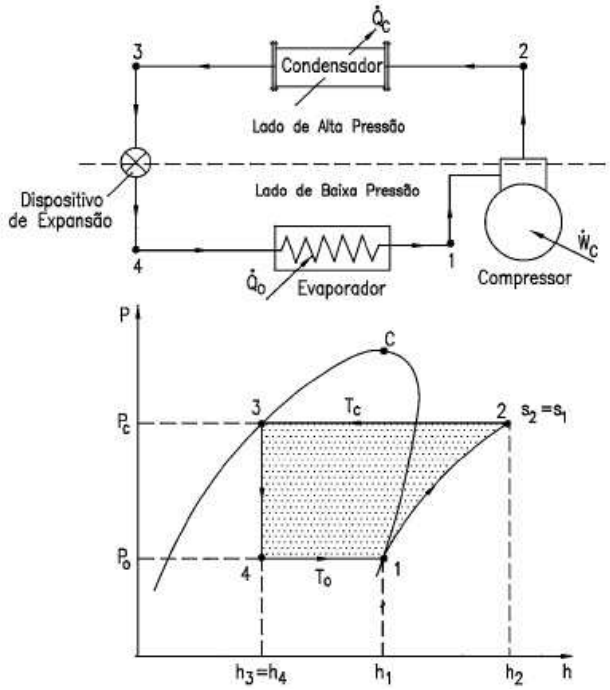


Figura 4.1 – Ciclo frigorífico por compressão mecânica de vapores

O ciclo inicia no compressor, onde o fluido em estado gasoso é comprimido e descarregado na forma de vapor superaquecido e alta pressão para um trocador de calor (condensador) que serve para retirar calor do fluido através da transferência de calor com o ar externo e mudar o estado físico para líquido a alta pressão. O próximo passo é realizado por um dispositivo de expansão que gera uma perda de carga no fluido, tornando-o um líquido sub-resfriado a baixa pressão. O fluido na forma de líquido sub-resfriado entra no trocador de calor (evaporador), onde se inicia a transferência de calor do ar que se deseja condicionar para o fluido refrigerante. Na saída do evaporador o fluido encontrar-se-á no estado gasoso e baixa pressão para ser admitido novamente no compressor.

O programa de simulação higrotérmica e energética de ambientes Domus-Procel Edifica utiliza modelagem empírica de equipamentos de condicionamento de ar, baseando-se em dados de desempenho informados pelo fabricante. Este tipo de modelagem permite aos usuários prever o desempenho de equipamentos e facilitar a integração de modelos de equipamentos com o programa computacional. Os modelos

obtidos por regressão polinomial preveem a capacidade total de refrigeração, a capacidade sensível e o Coeficiente de Eficiência Energética. Estas características de desempenho são calculadas como funções das temperaturas de bulbo úmido do ambiente interno e da temperatura de bulbo seco do ambiente externo.

O modelo de desempenho para condicionadores de ar por expansão direta aplicado no programa de simulação de ambientes Domus-Procel Edifica e, consequentemente adotado na análise deste estudo, é descrito por Pereira e Mendes (2011). Utilizaram-se os dados de desempenho nas condições nominais de operação e correlações de desempenho, as quais respondem pelas variações da capacidade total de refrigeração e da potência elétrica consumida em regime de carga parcial, com vazão de refrigerante constante. Os dados foram obtidos através de ensaios realizados num calorímetro.

Um calorímetro consiste em duas câmaras interligadas por uma parede em comum, onde é possível simular as condições psicrométricas do ar no ambiente interno e externo. A unidade condensadora é instalada em uma das câmaras responsável por simular as condições climáticas externas, enquanto a unidade evaporadora está inserida na outra câmara que simula o ambiente que se deseja condicionar. Os dados são coletados através de um sistema de aquisição de dados para avaliar as variações da capacidade de refrigeração, fator de calor sensível e consumo de energia de acordo com as condições do ar em que o condicionador de ar está sendo submetido naquele instante.

A curva de desempenho é descrita por correlações matemáticas para calcular os fatores (Z) da capacidade total de refrigeração (Z_{CT}), da capacidade sensível de refrigeração (Z_{Cs}) e do coeficiente de eficiência energética (Z_{EER}) em função da temperatura de bulbo úmido do ambiente interno e da temperatura de bulbo seco do ambiente externo conforme a equação (4.1).

$$Z_{CT,Cs,EER} = a_0 + a_1(TBU_{\text{int}}) + a_2(TBU_{\text{int}})^2 + a_3(TBS_{ext}) + a_4(TBS_{ext})^2 + \\ + a_5(TBU_{\text{int}})(TBS_{ext}) \qquad (4.1)$$

onde Z_{CT} é o fator de correção da capacidade total de refrigeração obtido pela razão da capacidade de refrigeração em uma determinada condição de temperatura de bulbo úmido interna e temperatura de bulbo seco externa, pela capacidade de refrigeração na condição normatizada - [ ]; Z_{Cs} é o fator de correção da capacidade de refrigeração sensível obtido pela razão da capacidade de refrigeração sensível em uma determinada condição de temperatura de bulbo úmido interna e temperatura de bulbo seco externa, pela capacidade de refrigeração sensível na condição normatizada - [ ];

Z_{EER} é o fator de correção do coeficiente de eficiência energética obtido pela razão do coeficiente EER obtido em uma determinada condição de temperatura de bulbo úmido interna e temperatura de bulbo seco externa, pelo coeficiente EER na condição normatizada - [ ]; TBU_{int} é a temperatura de bulbo úmido interna do ar (na evaporadora) - [K]; TBS_{ext} é a temperatura de bulbo seco externa do ar (na condensadora) - [K]; $a_1,...,a_n$ são os coeficientes obtidos através de uma regressão polinomial com os dados obtidos nas tabelas de desempenho de capacidade de refrigeração através de teste realizado em calorímetro - [1/K].

As condições normalizadas para a capacidade de refrigeração nominal, coeficiente de eficiência energética e fator de calor sensível conforme norma (ANSI/AHAM, 1992); são consideradas para o ar entrando na serpentina interna de refrigeração com *TBS* de 26,7°C e *TBU* de 19,4°C e o ar entrando na serpentina externa de condensação com *TBS* de 35°C e *TBU* de 23,9°C.

De acordo com Pereira e Mendes (2011), utilizaram-se três correlações de desempenho para reproduzir as variações da capacidade de refrigeração e de eficiência de condicionadores de ar unitários:

- Correlação de ajuste da capacidade de refrigeração em função da temperatura;
- Correlação de ajuste da capacidade de refrigeração sensível em função da temperatura;
- Correlação de ajuste da potência elétrica para refrigeração em função da temperatura;

A correlação de ajuste da capacidade total de refrigeração, em função das temperaturas de bulbo seco externa e de bulbo úmido interna, é uma correlação biquadrática e é definida pelas equações (4.1). O resultado desta correlação é multiplicado pela capacidade de refrigeração nas condições nominais, obtendo a capacidade da máquina para qualquer condição de operação diferente da nominal.

No cálculo da capacidade total de refrigeração de um condicionador de ar, é importante também determinar adequadamente a divisão entre as componentes sensível (temperatura) e latente (desumificação). O modelo determina a divisão da capacidade total de refrigeração em latente e sensível através do fator de calor sensível nominal (*FCS*) da serpentina interna.

A partir da capacidade total e sensível nas condições de operação da serpentina evaporadora, é possível determinar o FCS através da seguinte equação (4.2):

$$FCS = \left(\frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (TBS_s - TBS_e)}{\dot{m} \cdot (h_s - h_e)} \right) \tag{4.2}$$

onde o FCS é o fator calor sensível da serpentina evaporadora - [ ]; $\dot{m}$ a vazão mássica de ar seco - [kg/s]; c_p é o calor específico do ar de acordo com a pressão atmosférica do ambiente - [kJ/(Kg.K)].; h_e é a entalpia do ar na entrada da serpentina evaporadora - [kJ/Kg]; h_s é a entalpia do ar na descarga da serpentina evaporadora - [kJ/Kg]; TBS_e é a temperatura de bulbo seco do ar na entrada da serpentina evaporadora - [K] e TBS_s é a temperatura de bulbo seco do ar na saída da serpentina evaporadora - [K].

Desta forma, a correlação de ajuste do coeficiente de capacidade sensível, em função das temperaturas de bulbo seco externa (Tbs_{ext}) e de bulbo úmido interna (Tbu_{int}), é uma correlação biquadrática e é definida pela equação (4.1). O resultado desta correlação é multiplicado pelo inverso da capacidade de calor sensível nas

condições nominais, obtendo a fração que representa a capacidade de refrigeração sensível para qualquer condição de operação diferente da nominal.

A correlação de ajuste do coeficiente de eficiência energética, em função das temperaturas de bulbo seco externa (Tbs_{ext}) e de bulbo úmido interna (Tbu_{int}), é igualmente uma correlação biquadrática definida pela equação (4.1). O resultado desta correlação é multiplicado pelo inverso do EER nas condições nominais, obtendo a fração que representa o coeficiente de eficiência energética para qualquer condição de operação diferente da nominal.

Os coeficientes calculados para os condicionadores de ar unitarios do tipo *split* aplicados no programa de simulação de ambientes Domus-Procel Edifica estão apresentados no Anexo B deste trabalho.

4.2 SISTEMA CENTRAL A ÁGUA

O equipamento para condicionamento de ar central a água opera por expansão indireta, através de uma composição entre os subsistemas: primário e secundário. Os dois subsistemas estão conectados entre si por um fluido intermediário responsável pelo resfriamento do ar no ambiente condicionado.

O sistema primário pode ser dividido entre os elementos responsáveis pela produção de frio e de calor. Como o objetivo do equipamento utilizado é apenas resfriar, utiliza-se somente um resfriador de líquido (*Chiller*) que opera com um circuito de refrigeração por compressão mecânica de vapores (FIGURA 4.1) para resfriar a água que faz o papel de fluido intermediário. Um sistema de bombas centrífugas é utilizado para movimentar a água entre os dois subsistemas.

A FIGURA 4.2 apresenta a configuração de um sistema primário de condicionamento de ar central à água.

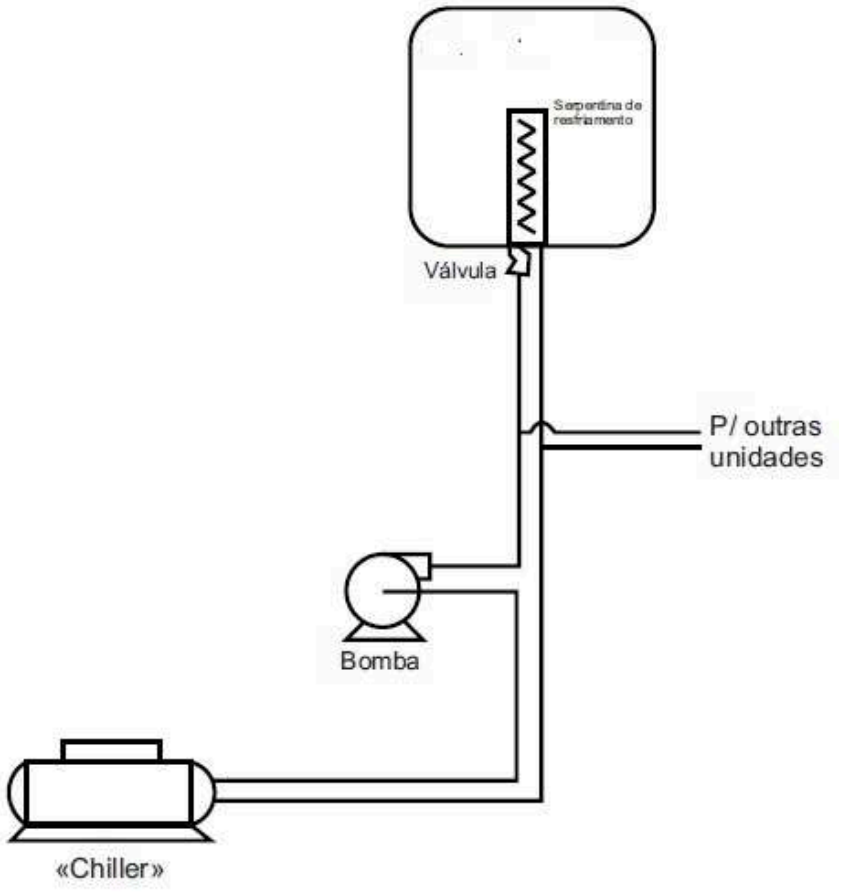


Figura 4.2 – Sistema primário de condicionamento de ar à água Adaptado de BARBOSA (2008)

O sistema secundário normalmente é composto por trocadores de calor do tipo evaporador e ventiladores, estes equipamentos são conhecidos como *fan-coil* e respondem pelas funções de resfriamento e/ou aquecimento do ar. Adicionalmente é possível instalar sistemas de umidificação, aquecimento elétrico e desumidificação. O controle das condições do ar é feito através de sensores de temperatura e umidade que controlam a vazão de água gelada, o funcionamento dos ventiladores e a operação de sistemas de aquecimento, umidificação e desumidificação quando for necessário.

A FIGURA 4.3 apresenta a configuração de um sistema secundário de condicionamento de ar central à água.

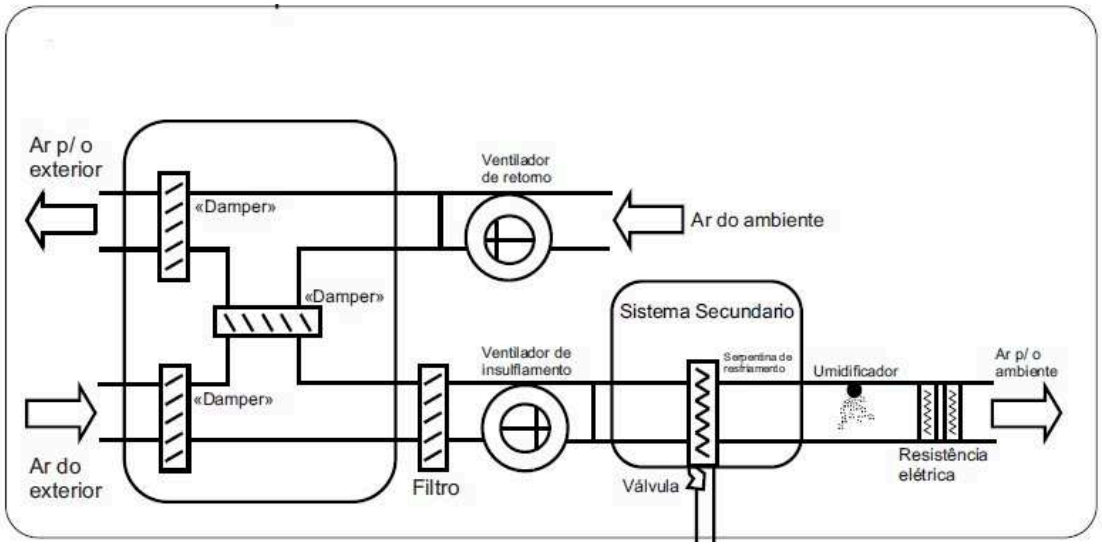


Figura 4.3 – Sistema secundário de condicionamento central à água Adaptado de BARBOSA (2008)

O modelo empírico utilizado no programa de simulação de ambientes *Domus* (MENDES *et al.*, 2003) foi adaptado por Barbosa *et al.* (2008). O modelo é constituído pelas equações de desempenho do *chiller* e bomba centrífuga no sistema primário. No sistema secundário modela-se a serpentina de resfriamento e desumidificação, ventilador e caixas de mistura que fazem parte da rede de dutos.

O modelo de maior relevância em termos de rendimento e consumo de energia é o do *chiller,* o qual é dividido em três curvas polinomiais que descrevem como a capacidade de resfriamento varia em função das condições de operação e como a potência do compressor varia em condições de cargas parciais. De acordo com Barbosa *et al.* (2008), o modelo fornece a potência consumida do *chiller* através das temperaturas da água na saída do evaporador (T_{sev}) e na entrada do condensador (T_{ecd}) e da taxa de calor retirado do ambiente, ou seja, na serpentina de resfriamento (Q_{ev}). Quando o *chille*r é resfriado a ar, a temperatura T_{ecd} é a temperatura externa do ar.

A primeira curva representada pela equação (4.3), é um polinômio bi-quadrático que descreve como a capacidade de refrigeração do *chiller* varia para diferentes temperaturas da água no evaporador e no condensador, em comparação com a capacidade de refrigeração nas condições de referência.

$$CAPFT = a_1 + b_1 T_{sev} + c_1 T_{sev}^2 + d_1 T_{ecd} + e_1 T_{ecd}^2 + f_1 T_{sev} T_{ecd} \tag{4.3}$$

onde T_{sev} é a temperatura da água na saída do evaporador do *chiller* - [K]; T_{ecd} é a temperatura da água na entrada do condensador do *chiller* - [K] e *a,b,c,...,* são os coeficientes das curvas - [ ].

A segunda curva também é um polinômio biquadrático que descreve como a eficiência em carga total, definida como potência consumida em kW por TR (toneladas de refrigeração) varia com as temperaturas da água.

$$EIRFT = a_2 + b_2 T_{sev} + c_2 T_{sev}^2 + d_2 T_{ecd} + e_2 T_{ecd}^2 + f_2 T_{sev} T_{ecd} \tag{4.4}$$

onde T_{sev} é a temperatura da água na saída do evaporador do *chiller* - [K]; T_{ecd} é a temperatura da água na entrada do condensador do *chiller* - [K] e *a,b,c,...,* são os coeficientes das curvas - [1/K].

A terceira curva é um polinômio cúbico que descreve como a potência consumida varia em condições de cargas parciais.

$$EIRPFPLR = a_3 + b_3 PLR + c_3 PLR^2 \tag{4.5}$$

onde PLR é a razão de carga parcial, definida como a razão entre a capacidade de refrigeração necessária no ambiente pela capacidade de refrigeração fornecida pelo *chiller* - [ ]; avaliada nas temperaturas T_{sev} e T_{ecd} - [K] e *a,b,c,...,* são os coeficientes das curvas- [1/K].

A razão de carga parcial PLR, é calculada através da equação (4.6).

$$PLR = \frac{Q_{ev}}{Q_{ev,avaliado(Tsev,Tecd)}} \tag{4.6}$$

onde Q_{ev} é a taxa de calor retirado pela serpentina de resfriamento [W] e $Q_{ev,avaliado(Tsev,Tecd)}$ é a capacidade de refrigeração fornecida pelo *chiller* avaliada nas temperaturas T_{sev} e T_{ecd} [K].

4.3 DESEMPENHO DE CONDICIONADORES DE AR

A eficiência de ciclos é definida como a relação entre a energia útil, que é o objetivo do ciclo, e a energia gasta que deve ser paga para obtenção do efeito desejado. No caso dos ciclos frigoríficos, o COP – Coeficiente de Eficácia – definido de acordo com a ASHRAE *Applications* (1999), tem como objetivo produzir um efeito de refrigeração, ao passo que o trabalho líquido representa aquela quantidade que deve se pagar, dada pela equação (4.7).

$$COP = \frac{Q_0}{W_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \tag{4.7}$$

onde Q_0 é a potência de resfriamento ou aquecimento fornecida pelo equipamento [W], W_c é a potência consumida pelo equipamento durante sua operação [W], h_1 é a entalpia do fluido refrigerante na entrada do compressor, h_2 é a entalpia do fluido refrigerante na descarga do compressor e h_4 é a entalpia do fluido refrigerante na entrada do evaporador.

A obtenção de um COP elevado está relacionada à redução do trabalho necessário para um dado efeito de refrigeração. Porém o COP é função das propriedades do fluido refrigerante utilizado no equipamento, das temperaturas de condensação e evaporação e do compressor.

De acordo com Stoecker (2002), a redução da temperatura de condensação, assim como a elevação na temperatura de evaporação do ciclo de compressão mecânica de vapores, ambos acarretam numa elevação do COP. A elevação de um

grau na temperatura de evaporação é mais significativa do que a mesma redução na temperatura de condensação em termos de resultados.

Além do COP, outro índice para medir a eficiência do condicionador de ar é o EER (*Energy Efficiency Ratio*), definido de acordo com a ASHRAE *Applications* (1999) como o valor da razão entre a capacidade total de refrigeração em Btu/h pelo consumo elétrico total em Watts. Esse índice considera o consumo de alguns componentes que não são considerados no cálculo do COP, como ventiladores, atuadores de válvulas entre outros. Quanto maior o valor desse índice, maior será a eficiência do equipamento. O EER é calculado através da equação (4.8).

$$EER = \frac{Q_{tot}}{W_{tot}} \tag{4.8}$$

onde Q_{tot} é a potência de resfriamento ou aquecimento total fornecida pelo equipamento [Btu/h] e W_{tot} é a potência elétrica total consumida pelo equipamento durante sua operação [W].

5 DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES

Para avaliar o desempenho energético de edificações públicas e comerciais no Brasil, devem-se seguir as orientações da RTQ-C do INMETRO, a qual estabelece os requisitos mínimos para obtenção da ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

Neste capítulo apresentam-se as condições iniciais para aplicar a RTQ-C, além dos métodos prescritivo e da simulação para determinar a classificação de eficiência energética da edificação.

5.1 CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO DA RTQ-C

A análise do desempenho energético está dividida em três partes: avaliação da envoltória do edifício, iluminação e sistema de condicionamento de ar. Essas parcelas possuem pesos diferentes na avaliação. A parcela relativa ao sistema de condicionamento de ar representa 40% do índice de classificação, enquanto as parcelas de iluminação e envoltória possuem peso de 30% cada uma.

De acordo com a RTQ-C, o procedimento é aplicável a edifícios com área total útil mínima de 500 m² e/ou tensão de abastecimento superior ou igual a 2,3 kV (subgrupos A1, A2, A3, A3a, A4 e A5), incluindo edifícios condicionados, parcialmente condicionados e não condicionados. Todos os sistemas individuais têm níveis de eficiência que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

A etiquetagem de eficiência energética pode ser realizada através de dois métodos diferentes, o prescritivo ou da simulação.

O método prescritivo utiliza um procedimento analítico onde são aplicadas equações que recebem como entrada informações relativas à envoltória, iluminação e sistema de condicionamento de ar. Os resultados obtidos são comparados com valores

de tabelas para mensurar uma pontuação parcial para cada uma das três parcelas avaliadas e também para determinar o desempenho energético total da edificação.

O método da simulação necessita de programas computacionais, verificados com os resultados da ASHRAE STANDARD 140 (ASHRAE 2001). O procedimento adotado para o teste é o BESTEST (*Building Energy Simulation Test*), desenvolvido pelo NREL (*National Renewable Energy Laboratory*). O BESTEST utiliza casos padronizados para simulação através de diferentes programas, os resultados obtidos são comparados com os valores padronizados avaliando desta maneira a precisão do *software*.

O programa utilizado deve comparar o desempenho energético do edifício real com modelos de referência obtidos através de prescrições mínimas de acordo com o nível de eficiência pretendido. A FIGURA 5.1 apresenta um modelo de análise para avaliar uma edificação através do método da simulação.

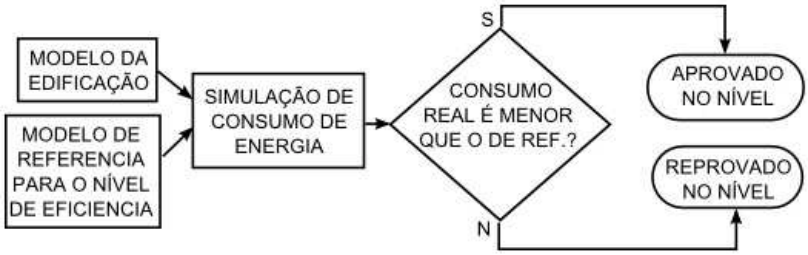


Figura 5.1– Método da simulação (Disponível em:<http://www.labeee.ufsc.br >, acesso em: dezembro de 2011)

A RTQ-C orienta a simulação completa da edificação, mas é possível avaliar o desempenho energético de partes do edifício desde que o local possua uma área mínima de 500 m². Porém, existem alguns pré-requisitos que precisam ser cumpridos como:

- Para classificar apenas a envoltória, o nível de eficiência energética deve ser estabelecido para a edificação completa, adotando-se para esta simulação, a iluminação e sistema de climatização do modelo de referência;

- O mesmo vale para os outros casos. O sistema que não está sendo avaliado é utilizado igual ao do modelo de referência para que se simule, sempre, envoltória, iluminação e sistema de condicionamento de ar;
- Para classificação do sistema de iluminação, o nível de eficiência energética pode ser estabelecido para um pavimento ou um conjunto de salas, assim como para os subsolos;
- Para classificação do sistema de condicionamento de ar, o nível de eficiência energética pode ser estabelecido para um pavimento ou um conjunto de salas, assim como para os subsolos.

5.2 MÉTODO PRESCRITIVO

O principal motivo para a utilização do método prescritivo é a avaliação comparativa entre as duas soluções de condicionamento de ar aplicadas na edificação do segundo estudo de caso. A ENCE geral e os parâmetros necessários para qualificar a envoltória, iluminação e sistema de condicionamento de ar são avaliados individualmente.

5.2.1 Envoltória

A análise do envelope do edifício demanda inicialmente de suas características construtivas e do cálculo do IC_{env} (Indicador de Consumo da Envoltória), o qual varia de acordo com a zona bioclimática onde está localizado o edifício.

O zoneamento bioclimático é aplicado de acordo com a NBR 15220-3, que estabelece para a cidade de Curitiba a zona bioclimática 1.

Os valores tabelados de transmitância térmica das paredes e cobertura, absortância térmica e iluminação zenital do projeto são analisados para determinar os níveis de eficiência que variam de A até D.

A transmitância térmica considerada para a avaliação é a média das transmitâncias de cada parcela das paredes, ou cobertura, ponderadas pela área que ocupam. A absortância térmica utiliza a mesma regra de cálculo.

Os parâmetros construtivos que determinam o nível de eficiência energética para a envoltória são diferentes para cada zona bioclimática avaliada, desta forma utilizam-se os valores tabelados de acordo com RTQ-C.

A Tabela 5.1 apresenta os valores aplicados para a zona bioclimática 1, a qual é utilizada para determinar os índices de eficiência energética da envoltória do segundo estudo de caso deste trabalho.

Tabela 5.1 – Parâmetros de Eficiência da Envoltória

Zona Bioclimática 1				
Transmitância Térmica (W/(m².K))	**Níveis de Eficiência**			
	A	**B**	**C**	**D**
Cobertura - Ambiente Condicionado Artificialmente	0,5	1,0	2,0	2,0
Cobertura - Ambiente Não Condicionado	1,0	1,5	2,0	2,0
Paredes Externas	1,0	2,0	3,7	3,7
Absortância	NA	α>0,5	NA	NA

Iluminação Zenital				
PAZ	0 a 2%	2,1 a 3%	3,1 a 4%	4,1 a 5%
FS	0,87	0,67	0,52	0,30

Fonte: RTQ-C – (INMETRO, 2010)

O IC_{env} é obtido através de uma equação. Existem duas equações por zona bioclimática: uma para edifícios com A_{pe} (Área de Projeção) menor que 500 m² e outra com A_{pe} maior que 500 m². As equações para A_{pe} > 500 m² são válidas para um FF (Fator de Forma) mínimo permitido (A_{env}/V_{tot}). Para A_{pe} < 500 m² são válidas para um FF máximo permitido (A_{env}/V_{tot}). Acima ou abaixo desses, deve-se utilizar os valores limites.

De acordo com a RTQ-C, a equação (5.1) determina o IC_{env} para a zona bioclimática 1, considerando um $A_{pe} \leq 500$ m² e um FF máximo (A_{env}/V_{tot}) = 0,60.

$$IC_{env} = -43{,}0.FA - 316{,}62.FF + 16{,}83.PAF_T + 7{,}39.FS - 0{,}20.AVS + 0{,}20.AHS + \\ + 132{,}5.\frac{FA}{FF} - 77.FA.FF - 0{,}92.FF.PAF_T.AHS + 182{,}66 \quad (5.1)$$

onde IC_{env} é o indicador de consumo da envoltória (adimensional); A_{pe} é a área de projeção do edifício [m²]; A_{tot} é a área total construída [m²]; A_{env} é a área da envoltória [m²]; A_{pcob} é a área de projeção da cobertura [m²]; AVS é o ângulo vertical de sombreamento; AHS é o ângulo horizontal de sombreamento; FF é fator de forma (A_{env}/V_{tot}); FA é o fator altura (A_{pcob}/A_{tot}); FS é o fator solar; PAFT é o percentual de abertura na fachada total (adimensional, para uso na equação) e V_{tot} é o volume total da edificação [m³].

A equação (5.2) também contida na RTQ-C, determina o IC_{env} para a zona bioclimática 1, considerando um A_{pe} > 500 m², sendo o FF máximo (A_{env}/V_{tot}) admitido para as zona bioclimáticas 1, 3 e 7 igual à 0,17, 0,70 et 0.60, respectivamente.

$$IC_{env} = 10{,}47.FA + 298{,}74.FF + 38{,}41.PAF_T - 1{,}11.FS - 0{,}11.AVS + 0{,}24.AHS - \\ - 0{,}54.PAF_T.AHS + 47{,}53 \quad (5.2)$$

onde IC_{env} é o indicador de consumo da envoltória (adimensional); AVS é o ângulo vertical de sombreamento; AHS é o ângulo horizontal de sombreamento; FF é fator de forma (A_{env}/V_{tot}); FA é o fator altura (A_{pcob}/A_{tot}); FS é o fator solar e PAFT é o percentual de abertura na fachada total (adimensional, para uso na equação).

De acordo com a RTQ-C, o indicador de consumo obtido deve ser comparado a uma escala numérica dividida em intervalos que descrevem um nível de classificação de desempenho que varia de A a E. Quanto menor o indicador obtido, mais eficiente será a envoltória da edificação. A escala numérica da classificação de eficiência é

variável e deve ser determinada para cada volumetria de edifício através dos parâmetros FA e FF: razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída (A_{pcob} / A_{tot}) é razão entre a área da envoltória e o volume total (A_{env} / V_{tot}). Os demais parâmetros da equação são fornecidos.

O procedimento para classificação da envoltória envolve as seguintes etapas descritas abaixo:

- Cálculo do indicador de consumo por meio da equação IC_{env} com os dados do projeto do edifício;
- Cálculo do limite máximo do indicador de consumo para aquela volumetria, IC_{MaxD}, por meio da mesma equação, mas com os parâmetros de entrada fornecidos pela Tabela 5.2; o IC_{MaxD} representa o indicador máximo que a edificação deve atingir para obter a classificação D, acima deste valor, a edificação passa a ser classificada com o nível E.

Tabela 5.2 – Parâmetros para cálculo do IC_{MaxD}

PAFT	FS	AVS	AHS
0,60	0,61	0,00	0,00

Fonte: RTQ-C – (INMETRO, 2010)

- Cálculo do limite mínimo $IC_{\min}$ por meio da equação, com os parâmetros de entrada fornecidos pela Tabela 5.3; o $IC_{\min}$ representa o indicador de consumo mínimo para aquela volumetria.

Tabela 5.3 – Parâmetros para cálculo do $IC_{\min}$

PAFT	FS	AVS	AHS
0,05	0,87	0,00	0,00

Fonte: RTQ-C – (INMETRO, 2010)

- Os limites IC_{MaxD} e $IC_{\min}$ representam o intervalo dentro do qual a edificação proposta deve se inserir. O intervalo é dividido em 4 partes (*i*), cada parte se refere a um nível de classificação numa escala de desempenho que varia de A a E. A subdivisão *i* do intervalo é calculada com a equação (5.3);

$$i = \frac{IC_{MaxD} - IC_{\min}}{4} \tag{5.3}$$

- O valor de *i* calculado é aplicado nas equações da Tabela 5.4 para obter os limites mínimos e máximos que determinam o nível de eficiência energética da envoltória;

Tabela 5.4 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim. Minimo	-	ICMaxD - 3i + 0,01	ICMaxD - 2i + 0,01	ICMaxD - i + 0,01	ICMaxD + 0,01
Lim. Máximo	*IC MaxD - 3i*	*IC MaxD - 2i*	*IC MaxD - i*	*IC MaxD*	-

Fonte: RTQ-C – (INMETRO, 2010)

- Comparação entre o IC_{env} obtido com os limites da tabela acima e identificar o nível de eficiência do projeto em questão.

5.2.2 Sistema de Iluminação

Um edifício com um sistema eficiente de iluminação fornece os níveis adequados de iluminância para cada tarefa consumindo o mínimo de energia, e também gerando a menor carga térmica possível.

Para avaliar o sistema de iluminação, inicialmente devem-se satisfazer algumas condições de projeto. Estas condições são a divisão dos circuitos, contribuição da luz natural e desligamento automático do sistema. Os níveis de eficiência variam de acordo com o atendimento ou não desses pré-requisitos, caso todas as três condições forem atendidas, então o sistema de iluminação é classificado como A (mais eficiente). Quando somente as duas primeiras forem atendidas, então o

sistema é B e se o sistema atender somente o critério de divisão dos circuitos, a classificação é C.

Entretanto, apenas esta avaliação não basta para determinar o nível de eficiência da iluminação. A RTQ-C orienta a aplicação de dois métodos diferentes para determinar a classificação: método da área do edifício e método das atividades do edifício.

O método utilizado nesse trabalho é o método das áreas do edifício, que avalia de forma conjunta todos os ambientes e atribui um único valor limite para a avaliação do sistema de iluminação. Este método deve ser utilizado para edifícios com até três atividades principais, ou para atividades que ocupem mais de 30% da área do edifício.

A Tabela 5.5 apresenta os valores de referência para eficiência energética do sistema de iluminação através do método da área.

Tabela 5.5 – Parâmetros de Eficiência Energética de Iluminação pelo método da área

Função do Edifício	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m^2 (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m^2 (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m^2 (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m^2 (Nível D)
Academia	9,5	10,9	12,4	13,8
Armazém	7,1	8,2	9,2	10,3
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Bombeiros	7,6	8,7	9,9	11,0
Centro de Convenções	11,6	13,3	15,1	16,8
Cinema	8,9	10,2	11,6	12,9
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Correios	9,4	10,8	12,2	13,6
Venda e Locação de Veículos	8,8	10,1	11,4	12,8
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Estádio de esportes	8,4	9,7	10,9	12,2

Fonte: Adaptado de RTQ-C – (INMETRO, 2010)

O método das atividades do edifício avalia separadamente os ambientes do edifício e deve ser utilizado nos casos que o método das áreas não é aplicável.

5.2.3 Sistema de Condicionamento de Ar

Neste caso também se aplicam algumas condições iniciais antes de uma avaliação mais detalhada. As unidades condensadoras devem estar permanentemente sombreadas com ventilação adequada para não afetar o desempenho dos condicionadores de ar. Os dutos e tubulações do sistema devem apresentar espessuras mínimas de isolamento conforme Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Espessura mínima de tubulações para sistemas de refrigeração

Faixa de temperatura do fluido (°C)	Condutividade do isolamento		Comprimento da tubulação (cm)				
	Condutividade térmica (W/m.K)	Faixa temperatura (°C)	< 63,5	63,5 a 100	100 a 250	250 a 500	≥ 500
4 < T < 16	0,032 a 0,040	38	1,3	1,3	2,5	2,5	2,5
T < 4	0,032 a 0,040	38	1,3	2,5	2,5	2,5	2,5

Fonte: RTQ-C – (INMETRO, 2010)

Para avaliar o equipamento, a RTQ-C divide os equipamentos em duas classes, aqueles que possuem etiqueta de eficiência energética e estão regulamentados pelo INMETRO e aqueles que não estão regulamentados.

Os condicionadores de ar não regulamentados são avaliados através de parâmetros tabelados permitem determinar a classificação energética da máquina.

Os condicionadores de ar unitários analisados neste trabalho são avaliados de acordo com a Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Parâmetros de eficiência energética de splits

Condicionadores de Ar Unitários - Split

Tipo de Equipamento	Capacidade	Eficiência Mínima	Procedimento de Teste	Classificação
Condicionador de ar resfriado a ar	≥ 19 kW e < 40	3,22 COP 3,28 ICOP	AHRI 340/360	A e B
Condicionador de ar resfriado a ar	≥ 19 kW e < 40	2,96 COP	AHRI 340/360	C
Condicionador de ar resfriado a ar	≥ 19 kW e < 40	2,61 COP	AHRI 210/240	D

Fonte: RTQ-C – (INMETRO, 2010)

O resfriador de líquido analisado no segundo estudo de caso deste trabalho possui parâmetros para classificação de eficiência energética conforme Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Parâmetros de eficiência energética do Resfriador de Líquido

Resfriador de Líquido - Chiller						
		Caminho A		Caminho B		
Tipo de Equipamento	Capacidade	Carga Total	IPVL	Carga Total	IPVL	Classificação
Resfriador de Líquido com condensação a ar	< 528 kW	≥2,802	≥3,664	-	-	A e B
	≥ 528 kW	≥2,802	≥3,737			
Resfriador de Líquido com condensação a ar	Todas	2,80 COP	3,05	-	-	C
Resfriador de Líquido com condensação a ar	< 528 kW	2,70 COP	2,8	-	-	D

Fonte: RTQ-C – (INMETRO, 2010)

5.2.4 Eficiência Energética da Edificação

Depois de avaliadas cada uma das três parcelas, envoltória, iluminação e sistema de condicionamento de ar; a ENCE geral do edifício pelo método prescritivo de acordo com a RTQ-C do INMETRO é determinada pela equação (5.4).

$$PT = 0{,}30.\left\{\left(EqNumEnv.\frac{AC}{AU}\right)+\left(\frac{APT}{AU}.5+\frac{ANC}{AU}.EqNumV\right)\right\}+0{,}30.\left(EqNumDPI\right)+ \quad (5.4)$$
$$+0{,}40.\left\{\left(EqNumCA.\frac{AC}{AU}\right)+\left(\frac{APT}{AU}.5+\frac{ANC}{AU}.EqNumV\right)\right\}+b\begin{matrix}1\\0\end{matrix}$$

onde EqNumEnv é o equivalente numérico da envoltória (adimensional); EqNumDPI é o equivalente numérico do sistema de iluminação (adimensional); EqNumCA equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar (adimensional); EqNumV é o equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente; APT é a área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados; ANC é a área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método da simulação; AC é a área útil dos ambientes condicionados; AU é a área útil e b é a pontuação obtida pelas bonificações, que varia de zero a 1.

O valor encontrado é comparado com os valores da Tabela 5.9 para determinar o nível de eficiência energética do edifício.

Tabela 5.9 – Classificação Geral pelo Método Prescritivo

PT	Classificação Final
≥4,5 a 5	A
≥3,5 a <4,5	B
≥2,5 a <3,5	C
≥1,5 a <2,5	D
<1,5	E

Fonte: RTQ-C – (INMETRO, 2010)

5.3 MÉTODO DA SIMULAÇÃO

O método da simulação permite avaliar casos de edificações com volumetrias, aberturas ou proteções solares mais complexas, projetos de condicionamento de ar onde o projetista pode simular diferentes soluções, as quais poderão alcançar elevados níveis de eficiência de acordo com as especificidades de seu projeto.

O método exige alguns pré-requisitos para o programa de simulação e para o arquivo climático utilizado. Ele deve ser realizado para um ano completo, utilizando um programa aprovado pelo método BESTEST da Norma 140 (ASHRAE, 2004). É necessário que o programa modele inércia térmica, permita a modelagem multizonas e seja capaz de determinar a capacidade do sistema de condicionamento de ar. Para a simulação da ventilação natural e de outras estratégias bioclimáticas, é necessário que o programa ofereça os recursos para simulação.

Atendidos os pré-requisitos, a avaliação é realizada por meio da comparação do consumo de dois modelos de edifícios: um modelo real, baseado no edifício que está sendo proposto para receber a etiqueta, e um modelo de referência, definido com base no método prescritivo, porém com algumas especificidades, como uso de vidros claros e sem qualquer tipo de sombreamento. O modelo de referência deve possuir

ainda diversas características, que devem ser idênticas às do modelo do edifício real, como forma do edifício, número de zonas térmicas, padrões de uso, ocupação e cargas internas de equipamentos. Compara-se o consumo anual de eletricidade simulado dos dois modelos, devendo o consumo do modelo do edifício real ser menor que o do modelo de referência para o nível de eficiência pretendido. Dessa forma, obtém-se o nível de eficiência geral do edifício.

Para simulação do sistema de condicionamento de ar, o modelo de referência deve-se utilizar o COP estabelecido pelo método prescritivo, de acordo com o nível de eficiência pretendido.

Os edifícios condicionados avaliados completamente pelo método da simulação poderão receber a ENCE geral e o ponto de bonificação apenas quando esta não estiver presente na simulação. O equivalente numérico de simulação (EqNumS) para edifícios simulados deverá ser calculado através de interpolação linear entre os consumos calculados nos modelos de referência que definem a classificação da etiqueta.

A classificação final do edifício pelo método da simulação é calculada de acordo com a equação (5.5).

$$PT = EqNumS + b_0^1 \tag{5.5}$$

onde EqNumS é o equivalente numérico da simulação (adimensional) e b é a pontuação obtida pelas bonificações, que varia de zero a 1.

O valor encontrado é comparado com os valores da Tabela 5.9 para determinar o nível de eficiência energética do edifício.

6 DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO

Este capítulo é dividido em duas partes, inicialmente descreve-se um edifício-escritório com apenas uma zona térmica, parametrizado para as cidades de Curitiba, Cuiabá, São Paulo e Denver nos Estados Unidos.

A segunda parte do capítulo apresenta o caso de um edifício escritório, localizado na cidade de Curitiba, PR. cuja carga térmica de pico é superior a 350 kW.

6.1 ESTUDO DE CASO I

A seleção do edifício foi feita pela sua representatividade na categoria de edifício comercial climatizado, de tipologia de escritório, área inferior a 500 m² e a existência de apenas uma zona térmica.

De acordo com a RTQ-C (2010), uma zona térmica é definida como um espaço ou grupo de espaços dentro de um edifício condicionado que são suficientemente similares, onde as condições desejadas (temperatura) podem ser controladas usando um único sensor (termostato ou sensor de temperatura).

O edifício de um pavimento possui apenas uma sala com área de 50 m² e um pé direito de 2,5 m, a fachada principal da edificação, pintada de branco, está voltada para noroeste. As paredes com orientação sudeste e sudoeste possuem dupla camada de tijolos de 6 furos circulares de 10 cm cada, uma camada intermediária e duas camadas externas de reboco de 3 cm de espessura. As demais (nordeste e noroeste) são compostas apenas por uma camada de tijolos de 6 furos circulares e uma camada de reboco de 3 cm de espessura no lado interno e externo da edificação. Uma janela com vidro comum de 4 mm e área de 10 m² ocupa parte da parede noroeste. Esta janela possui proteção de sombreamento de 0,5 m no lado externo para a parte superior e permanece sempre fechada. Na parede nordeste existe uma porta de compensado de

2,1 m x 0,9 m para circulação de pessoas, a qual permanece a maior parte do tempo fechada.

O teto é composto por um telhado com uma camada de telhas de fibrocimento onduladas de 6 mm de espessura, uma camada de EPS (Poliestireno Expandido) de 25 mm de espessura e uma camada interna de forro PVC de 8 mm. O piso é revestido com carpete (lã de vidro) espessura 6,5 mm, possui uma camada de compensado de madeira com 20 mm de espessura, uma camada de concreto de 50 mm.

Nesse contexto, as paredes que compõem a envoltória são constituídas de materiais tipicamente brasileiros. As características térmicas de cada material foram obtidas através dos fabricantes e tabelas de dados contidas na norma NBR 15220 (ABNT, 2005b).

A TABELA 6.1 apresenta os dados para os materiais que compõem a envoltória do edifício escritório.

Tabela 6.1– Características Térmicas dos Materiais Construtivos

Material Construtivo	Propriedades material	Massa especifica aparente (kg/m³)	Calor especifico (kJ/(kg.K))	Condutividade Térmica (W/(m.K))
Alvenaria	Tijolo 6 furos [1]	1300	0,59	0,90
Vidro	Vidro laminado [1]	2700	0,75	1,00
Esquadria	Alumínio [1]	2700	0,88	230,00
Reboco Assentamento	Argamassa comum	2100	0,93	1,15
Concreto	Argamassa e areia[1]	2400	1,00	1,75
Madeira de Lei	Madeira	720	1,25	0,23
Forro Poliuretano PVC	Forro tipo PVC auto extinguivel [1]	1200	1,01	0,20
Forro de Isopor	Placa de isopor [2]	15	1,42	0,04
Telha de Fibrocimento	Placa fibrocimento ondulada [1]	1400	0,84	0,65

[1] FONTE: NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2 - AnexoB (ABNT, 2005b)
[2] FONTE: Dados do fabricante Placa de Isopor ®

A sala possui iluminação artificial através de lâmpadas fluorescentes que funcionam durante todo o horário comercial (08:00h às 18:00h), além de computadores e impressoras que somados possuem carga térmica nominal (plena carga) de 2492 W, de acordo com dados obtidos da norma ABNT NBR 16.401-1.

A FIGURA 6.1 apresenta a planta baixa do edifício.

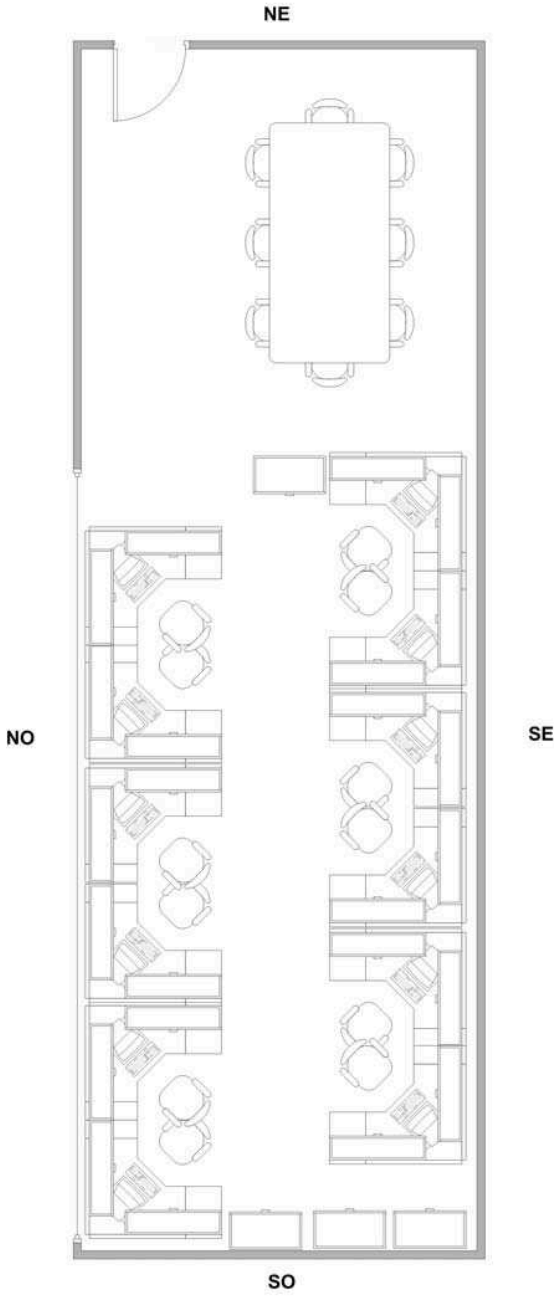


Figura 6.1 – Edifício escritório para teste do método CLTD

Os cálculos das propriedades térmicas de paredes compostas são realizados de acordo com os procedimentos da norma NBR 15220 (ABNT, 2005b). As paredes

nordeste e noroeste possuem uma única camada de tijolos de seis furos circulares e duas camadas externas de reboco, já as paredes sudeste e sudoeste, possuem duas camadas de tijolos com seis furos circulares e três camadas de reboco (duas externas e uma interna). A norma orienta o cálculo das seguintes variáveis: resistência térmica e transmitância térmica.

A resistência térmica, assim como a resistência elétrica, é a propriedade que um elemento construtivo possui de opor-se a passagem de um fluxo de calor originado por uma diferença de temperatura. A equação (6.1) apresenta o cálculo da resistência térmica da parede.

$$R_t = \frac{A_a + A_b + ... + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + ... + \frac{A_n}{R_n}} \tag{6.1}$$

onde R_t é a resistência térmica da parede [(m².K)/W]; A_a é a área da seção transversal da camada do material a A_b é a área da seção transversal da camada de material *b*; A_n é a área da seção transversal da *n*-ésima casmada de material; R_a é a resistência térmica da camada de material a; R_b é a resistência térmica da camada de material *b* e R_n é a resistência térmica da *n*-ésima camada de material.

Porém a resistência térmica total da parede considera a resistência da camada de ar adjacente a superfície interna e externa da parede. A equação (6.2) apresenta o cálculo da resistência térmica utilizada na determinação do coeficiente transmitância térmica da parede.

$$R_T = R_{SI} + R_t + R_{SE} \tag{6.2}$$

onde R_T é a resistência térmica total da parede [(m².K)/W]; R_{SI} é a resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície interna da parede que transfere calor por convecção e/ou radiação [(m².K)/W]; R_t é a resistência térmica da parede [(m².K)/W]

e R_{SE} é a resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície externa da parede que transfere calor por convecção e/ou radiação [(m².K)/W].

O coeficiente global de transferência de calor da parede é calculado através da equação (6.3).

$$U = \frac{1}{R_T} \tag{6.3}$$

onde U é o coeficiente global de transferência de calor da parede [W/(m².K)].

Os valores para coeficiente global de transferência de calor encontrados para as paredes compostas a partir dos materiais construtivos reais e brasileiros, e os materiais americanos obtidos a partir do manual ASHRAE *Fundamentals* 1997, capítulo 28, tabela 32 para a parede de número 3 são mostrados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Características da envoltória

Materiais Construtivos Brasileiros

Parede	Tipo de Parede	Componente Construtivo	Cor	Coeficiente Global de Transferência de Calor (W/(m².K))
Sudeste (SE)	Pesada	Duas camadas de tijolo de 6 furos e reboco	Branca	1,81
Nordeste (NE)	Leve	Tijolo de 6 furos e reboco	Branca	2,29
Noroeste (NO)	Leve	Tijolo de 6 furos e reboco	Branca	2,29
Sudoeste (SO)	Pesada	Duas camadas de tijolo de 6 furos e reboco	Branca	1,81
Teto		Telhas fibrocimento, câmara de ar, placas de isopor e forro PVC	Cinza	0,77
Piso		Concreto, chapas de compensado e carpet	Azul	0,04

Materiais Construtivos Americanos CLTD*

Parede	Composição	Componente Construtivo	Cor	Coeficiente Global de Transferência de Calor (W/(m².K))
Sudeste (SE)	A0-A1-A2-A1-A2-E0	Duas camadas de tijolo de fachada 100mm e reboco 25mm	Branca	2,46
Nordeste (NE)	A0-A1-A2-E0	Tijolo de fachada 100mm e reboco 25mm	Branca	3,41
Noroeste (NO)	A0-A1-A2-E1	Tijolo de fachada 100mm e reboco 25mm	Branca	3,41
Sudoeste (SO)	A0-A1-A2-A1-A2-E0	Duas camadas de tijolo de fachada 100mm e reboco 25mm	Branca	2,46
Teto		Telhas fibrocimento, câmara de ar, placas de isopor e forro PVC	Cinza	0,77

*** Dados das paredes retirados do manual ASHRAE Fundamentals 1997, capítulo 28, tabela 32 e parede número 3.**

O edifício é ocupado por sete pessoas durante o horário comercial, as atividades iniciam às 08h00min e encerram às 18h00min, de segunda a sexta-feira. Os ocupantes exercem atividade de escritório durante o tempo de permanência na edificação. Para os equipamentos, consideram-se a potência nominal instalada e o

período de funcionamento de cada um deles. A potência dissipada pela iluminação da sala é obtida através da soma das potências de lâmpadas e reatores.

A Tabela 6.3 apresenta as cargas geradas no interior da edificação.

Tabela 6.3 – Carga térmica gerada internamente

Equipamento	Quantidade	Potência Instalada Unitária (W)	Potência Instalada Total (W)
Computadores	08 (oito)	275	2200
Impressoras	1 (uma)	292,00	292
		TOTAL	**2492 W**
Iluminação	**Quantidade**	**Potência Instalada unitária (W)**	**Potência Instalada Total (W)**
Lâmpadas	34 (trinta e quatro)	28	952
Reatores	17 (dezessete)	62	1054
		TOTAL	**2006 W**

6.2 ESTUDO DE CASO II

O edifício escolhido possui três pavimentos, tem como atividade predominante funções de escritório e está situado na zona bioclimática 1, na cidade de Curitiba. A FIGURA 6.2 mostra o modelo computacional do edifício feito no programa Domus-Procel Edifica, versão 1.1.4.4.

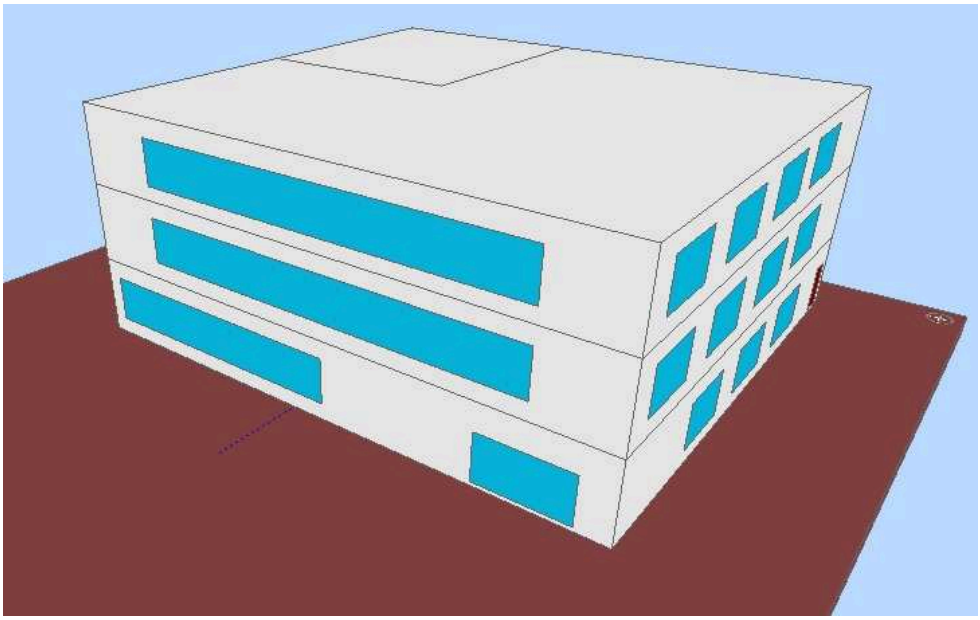


Figura 6.2 – Escritório de contabilidade

A escolha desta edificação foi feita pela sua representatividade na categoria de edifício-escritório público e climatizado, com área superior a 500 m² e carga térmica maior que 350 kW.

A FIGURA 6.3 apresenta a fachada da edificação voltada para o norte.

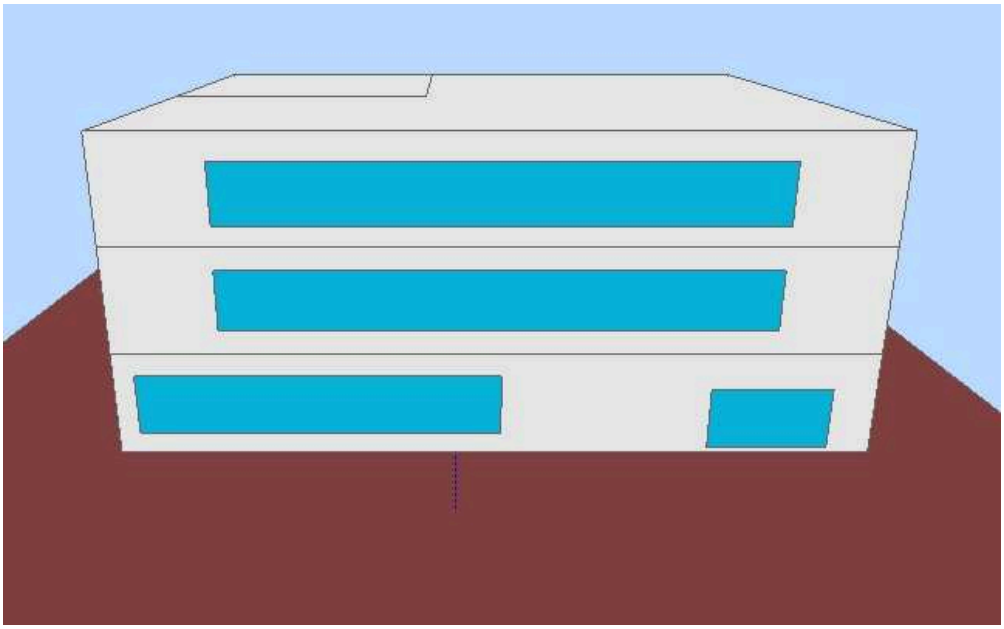


Figura 6.3 – Fachada da edificação

O edifício possui três pavimentos com área de 575 m², sendo um térreo para atendimento ao público e outros dois para o desempenho das atividades de contabilidade e advocacia. As áreas são amplas e abertas, a circulação de pessoas ocorre através de uma escada e elevadores posicionados nas extremidades inferiores dos pavimentos. As células de trabalho são separadas por divisórias parciais e somente as salas técnicas, de equipamentos, almoxarifado e copa são ambientes totalmente isolados por paredes de alvenaria.

De forma geral, as paredes externas são compostas por uma camada de tijolos de seis furos circulares (10 x 10 x 8 cm), revestida em ambas as faces por camadas de reboco com 2,5 cm de espessura. As áreas envidraçadas variam de acordo com a orientação da fachada. Na fachada norte as janelas são compostas por vidro temperado de espessura 10 mm. Nas paredes sul e oeste as janelas do pavimento térreo são

compostas por vidro temperado de espessura 10 mm, enquanto as do piso superior são de vidro cristal float 4 mm. A fachada leste não possui janelas. O piso é composto por vigas de concreto armado revestido com porcelanato na cor gelo e a cobertura é composta por telha tipo galvalume 0,5 mm, camada de ar de baixa emissividade de 75 cm, manta isolante térmica de 3 cm e placas de gesso acartonado de espessura 10 mm.

A análise de eficiência energética conforme os requisitos da RTQ-C foi realizada para os três pavimentos do edifício. O primeiro pavimento é onde se concentra as células de atendimento ao público e salas técnicas (equipamentos). A FIGURA 6.4 apresenta a planta baixa do primeiro pavimento.

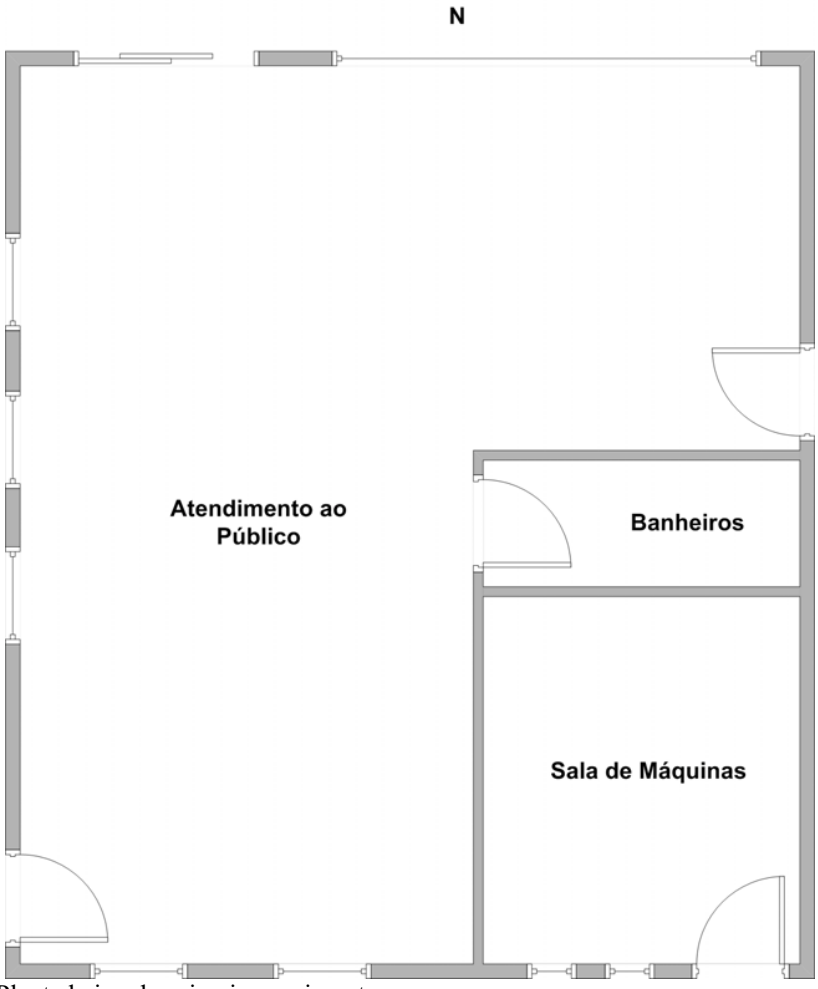


Figura 6.4 – Planta baixa do primeiro pavimento

No segundo e terceiro pavimentos concentram-se as áreas de relacionamento, atendimento empresarial e também as áreas administrativas. A FIGURA 6.5 apresenta a planta baixa do segundo e terceiro pavimentos.

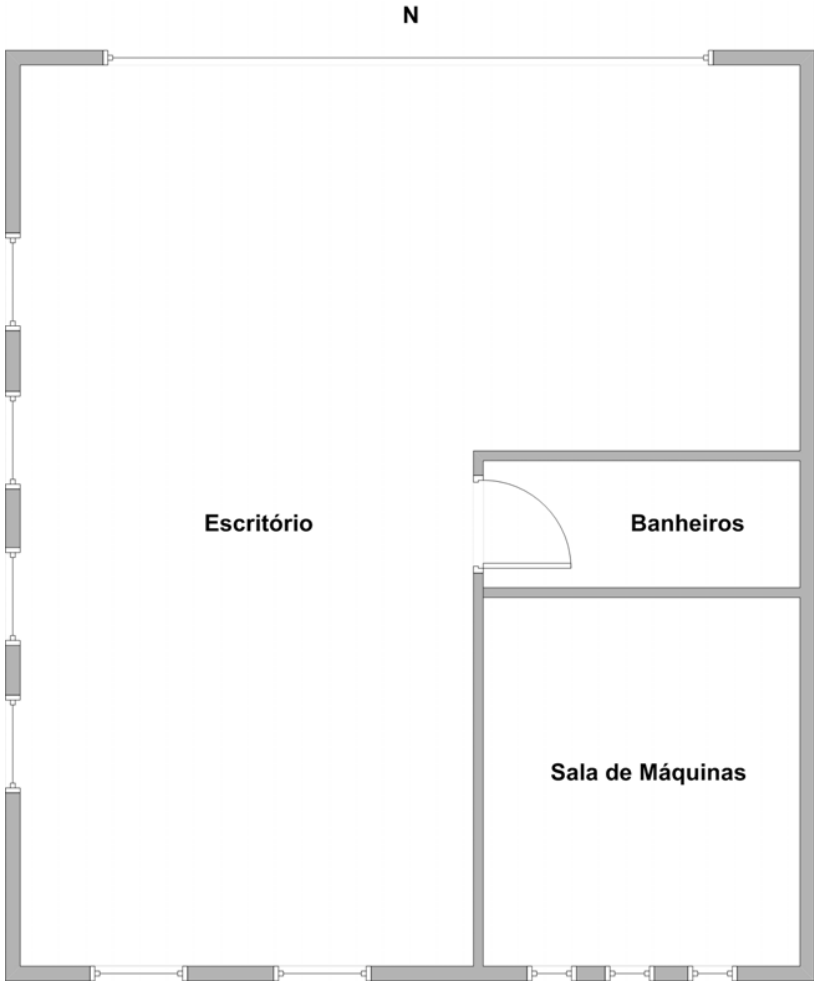


Figura 6.5 – Planta baixa do segundo e terceiro pavimentos

O horário de ocupação do edifício é das 08h00min às 18h00min, sendo que o atendimento ao público ocorre das 10h00min até 17h00min. Isso significa um incremento significativo na carga térmica gerada pelas pessoas durante o horário de atendimento e ao mesmo tempo muito difícil de estimar devido à variação da quantidade de pessoal dentro do local.

Para efeito de bonificação o projeto hidrossanitário do edifício prevê os seguintes sistemas e equipamentos que racionalizam o uso da água:

- Aproveitamento da água da chuva por meio de um sistema de reservatório e distribuição independente, que atende as necessidades de limpeza do piso externo e irrigação dos jardins;
- Bacias sanitárias com caixa acoplada de 6 litros;
- Torneiras com acionamento econômico (fechamento automático);
- Torneiras com aeradores;

O sistema implementado possibilita a economia de água nas proporções relatadas nos itens abaixo:

- Utilização de água de chuva para limpeza externa e irrigação proporciona uma economia de 4% no consumo;
- A bacia sanitária com caixa acoplada gera uma economia de 33% no consumo de água em comparação com válvula convencional de 9 litros;
- As torneiras com acionamento econômico reduzem o consumo de água em 15% quando comparadas às torneiras com fechamento manual;
- As torneiras com aeradores proporcionam 50% em relação às torneiras sem aeradores.

Uma estimativa da eficiência desse sistema foi obtida através de uma comparação entre uma agência de área semelhante em outra cidade que possui um consumo de água médio de 17.500 litros/habitante/ano, enquanto o edifício de Curitiba apresentou um consumo de 12.750 litros/habitante/ano; fato que resultou numa economia total de 27%.

6.2.1 Análise da Envoltória

A avaliação da eficiência energética de uma edificação de acordo com a RTQ-C do INMETRO prevê obrigatoriamente uma análise da parcela relativa à envoltória do edifício. Neste item avaliam-se a transmitância térmica e absortância das paredes, fator de forma, fator de altura, índice de consumo e percentual de abertura da fachada.

Para o edifício escritório de Curitiba, obtiveram-se os resultados de acordo com a Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Variáveis Envoltória

Variáveis	Descrição da Variável	Valor	Unidade
A_{pcob}	Área projeção cobertura	575,30	m²
A_{tot}	Área total de piso	1726,00	m²
A_{env}	Área envoltória	1556,00	m²
V_{tot}	Volume total	6041,00	m³
PAF_t	Percentual de abertura da fachada total	18,14	%
PAF_o	Percentual de abertura da fachada oeste	27,30	%
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento	13,30	°
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento	4,20	°
FF	Fator de forma	0,33	[ ]
FA	Fator de altura	0,52	[ ]
FS	Fator Solar	0,88	[ ]

Para obter a classificação de eficiência energética "A" (mais eficiente) de acordo com a RTQ-C, o coeficiente global de transferência de calor médio para a cobertura deve ser inferior a 1,0 W/(m².K) para ambientes condicionados e inferior a 2,0 W/(m².K) para ambientes não condicionados. Já as paredes externas, devem possuir um valor de transmitância térmica média (ponderada) inferior a 3,7 W/(m².K).

A absortância térmica das paredes está relacionada diretamente com a cor das superfícies. O limite da regulamentação para a classificação "A" é 0,40. Desta forma os valores calculados devem ser inferiores ao limite máximo.

A Tabela 6.5 apresenta os valores calculados através do programa Domus-Procel Edifica para resistência térmica, coeficiente global de transferência de calor e

absortância térmica das paredes e cobertura condicionada e não condicionada do edifício.

Tabela 6.5 – Características térmicas das paredes

Parede	Descrição das Paredes	Descrição das Janelas	Resistência Térmica (m².K)/W	Coeficiente Tranferência de Calor W/(m².K)	Absortância
Norte	Paredes de alvenaria, compostas por uma camada de tijolos de seis furos circulares (10 x 10 x 8 cm), revestida em ambas as faces por camadas de argamassa com 2,5 cm de espessura.	As janelas são compostas por vidro temperado de espessura 10 mm.	0,38	2,61	0,30
Sul	Paredes de alvenaria, compostas por uma camada de tijolos de seis furos circulares (10 x 10 x 8 cm), revestida em ambas as faces por camadas de argamassa com 2,5 cm de espessura.	As janelas do pavimento térreo são compostas por vidro temperado de espessura 10 mm, enquanto as do piso superior são de vidro cristal float 4 mm.	0,38	2,61	0,30
Leste	Paredes de alvenaria, compostas por uma camada de tijolos de seis furos circulares (10 x 10 x 8 cm), revestida em ambas as faces por camadas de argamassa com 2,5 cm de espessura.	Não possui janelas.	0,38	2,61	0,30
Oeste	Paredes de alvenaria, compostas por uma camada de tijolos de seis furos circulares (10 x 10 x 8 cm), revestida em ambas as faces por camadas de argamassa com 2,5 cm de espessura.	As janelas do pavimento térreo são compostas por vidro temperado de espessura 10 mm, enquanto as do piso superior são de vidro cristal float 4 mm.	0,38	2,61	0,30
Cobertura AC	Composta por telha tipo galvalume 0,5 mm, camada de ar baixa emissividade de 75 cm; manta isolante térmica de 3cm e placa de gesso acartonado.	Não se aplica.	1,08	0,93	0,20
Cobertura ANC	Composta por telha tipo galvalume 0,5 mm, camada de ar baixa emissividade de 75 cm; manta isolante térmica de 3cm e placa de gesso acartonado.	Não se aplica.	1,08	0,93	0,20
Piso	O piso é composto por vigas de concreto armado revestido com porcelanato na cor gelo.	Não se aplica.	10,00	0,10	0,30

6.2.2 Análise do Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação de todo o edifício possui divisão de circuitos, nos ambientes fechados e menores que 250 m² utilizam-se interruptores. Nas salas de atendimento a iluminação é setorizada com comando através de quadro de iluminação com contatores e botoeiras.

Para utilizar a luz natural, todas as luminárias localizadas junto às janelas, inclusive nos grandes salões, foram projetadas com interruptores independentes do salão, para aproveitamento da luz natural.

Para o desligamento automático da iluminação das zonas com área superior a 250 m², está previsto temporizador com programação para desligamento dos circuitos de iluminação após o expediente. Nos ambiente menores utilizam-se circuitos setorizados, acionados manualmente por botoeiras e contatores do quadro de iluminação, com visualização do ambiente.

A luminária adotada em todos os pavimentos do edifício possui duas lâmpadas fluorescente de embutir, corpo de chapa de aço fosfatizada e tratada, com pintura eletrostática em pó poliéster epóxi; refletor facetado de alumínio anodizado de alta pureza e refletância. O reator é do tipo eletrônico duplo com dissipação de 3W e lâmpadas de 32 W.

A Tabela 6.6 apresenta as quantidades de lâmpadas e reatores eletrônicos em cada um dos dois pavimentos analisados.

Tabela 6.6 – Dados do sistema de iluminação

Pavimento	Área (m²)	Iluminação (W)		DPI (W/m²)
		Lâmpadas	Reatores	
Térreo	575,3	218 x 32W	109 x 3W	12,70
Primeiro	575,3	208 x 32W	104 x 3W	12,10
Segundo	575,3	208 x 32W	104 x 3W	12,10

6.2.3 Sistema de Climatização

O sistema climatização principal é do tipo central a ar de expansão direta. Utilizam-se condicionadores de ar do tipo self-contained modelo 40BXA da marca Carrier com condensação a ar, compressor do tipo scroll, ventilador centrífugo do tipo sirocco com pás voltadas para frente e trocador de calor com tubos de cobre com

diâmetro 3/8” e aletas em alumínio. A solução possui uma rede de dutos equipada com dampers e difusores de ar para distribuir o ar tratado nos ambientes do primeiro e segundo pavimentos.

As salas técnicas e de equipamentos são atendidas por condicionadores de ar do tipo split de expansão direta.

A Tabela 6.7 apresenta os principais dados dos condicionadores de ar instalados, ambientes atendidos, COP e a classificação de eficiência energética conforme tabelas da RTQ-C do INMETRO.

Tabela 6.7 – Dados dos condicionadores de ar

Dados Ambiente			Equipamentos								Eficiência Mínima Regulamentação			
Pavimento	Ambiente	Área(m²)	Quant.	Equipamento	Fabricante	Modelo	Capacidade Frigorífica (KW)	Potência (KW)	COP Calculado	Capacidade Frigorífica (faixa)	Nível A e B	Nível C	Nível D	Classificação Equipamento
Térreo	Salão de Atendimento Pessoa Física	460	2	Condionador tipo self-contained	Carrier	40BXA 16226S	52,8	19,5	2,71	⩾40 e ⩽ 70 KW	2,78 COP	2,494 COP	8,2 EER	C
					Carrier	40BXA 08226S	26,4	10,1	2,61	⩾19 e ⩽ 40 KW	2,96 COP	2,61 COP	8,3 EER	C
Térreo	Sala de Máquinas	115,3	2	Condionador tipo mini-split	Carrier	38XCA 18515MC	5,3	1,9	2,78	⩾19 KW	3,52 SCOP	2,93 SCOP	8,8 SEER	D
					Carrier	38XCA 18515MC	5,3	1,9	2,78	⩾19 KW	3,52 SCOP	2,93 SCOP	8,8 SEER	D
Segundo Pavimento	Salão de Atendimento Pessoa Jurídica	460	2	Condionador tipo self-contained	Carrier	40BXA 14226S	44,0	17,2	2,56	⩾40 e ⩽ 70 KW	2,78 COP	2,494 COP	8,2 EER	C
				Condionador tipo self-contained	Carrier	40BXA 14226S	44,0	17,2	2,56	⩾40 e ⩽ 70 KW	2,78 COP	2,494 COP	8,2 EER	C
Terceiro Pavimento	Salão de Relacionamento Pessoa Jurídica	460	2	Condionador tipo self-contained	Carrier	40BXA 14226S	44,0	17,2	2,56	⩾40 e ⩽ 70 KW	2,78 COP	2,494 COP	8,2 EER	C
				Condionador tipo self-contained	Carrier	40BXA 14226S	44,0	17,2	2,56	⩾40 e ⩽ 70 KW	2,78 COP	2,494 COP	8,2 EER	C

A classificação dos equipamentos instalados é obtida através da comparação entre o COP dos equipamentos obtidos através do catálogo do fabricante e os valores tabelados na RTQ-C do INMETRO.

7 RESULTADOS

Este capítulo está dividido em duas partes, inicialmente apresentam-se os resultados obtidos para o primeiro estudo de caso (monozona), onde são comparados os valores de carga térmica através do método CLTD e via simulação computacional (balanço de energia) utilizando-se o programa Domus-Procel Edifica.

Na segunda parte, aplica-se o método prescritivo conforme a RTQ-C para determinar a etiqueta de eficiência energética para as parcelas da envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar do edifício correspondente ao segundo estudo de caso. É dada ênfase à parcela de condicionamento de ar devido à comparação de duas soluções diferentes para o condicionamento de ar da edificação: um sistema central a ar por expansão direta e um sistema central a água por expansão indireta. Em seguida, apresentam-se os resultados obtidos a partir da aplicação do método da simulação para o mesmo edifício empregando-se o programa Domus-Procel Edifica para avaliar o efeito do método, prescritivo ou de simulação, na determinação do nível de eficiência energética da edificação.

7.1 RESULTADOS CASO I

Os valores de carga térmica são calculados para a cidade de Denver nos EUA empregando os métodos CLTD e HBM (método do balanço de energia) e materiais construtivos americanos. O objetivo é apresentar as diferenças entre os dois métodos aplicados numa situação semelhante.

Para aplicar o método CLTD são feitas algumas considerações com relação à escolha dos materiais e coeficientes no manual ASHRAE *Fundamentals* (1997). Um dos critérios utilizado para escolher as paredes e telhados equivalentes, foi à semelhança entre os materiais construtivos empregados e a resistência térmica aproximada das paredes tabeladas. A transmissão de calor através do piso foi

desconsiderada de acordo com o manual ASHRAE *Fundamentals* (1997). Os valores de transmitância térmica aplicados nos cálculos foram obtidos a partir da resistência térmica dos materiais americanos que compõem as paredes apresentadas no manual ASHRAE *Fundamentals* (1997).

O primeiro resultado a ser apresentado é a diferença entre a carga térmica horária calculada através do método HBM e pelo método CLTD para a cidade americana de Denver, para a qual foram definidos os valores tabelados de base do método CLTD.

A carga térmica horária obtida para cada um dos métodos é apresentada na FIGURA 7.1 a seguir.

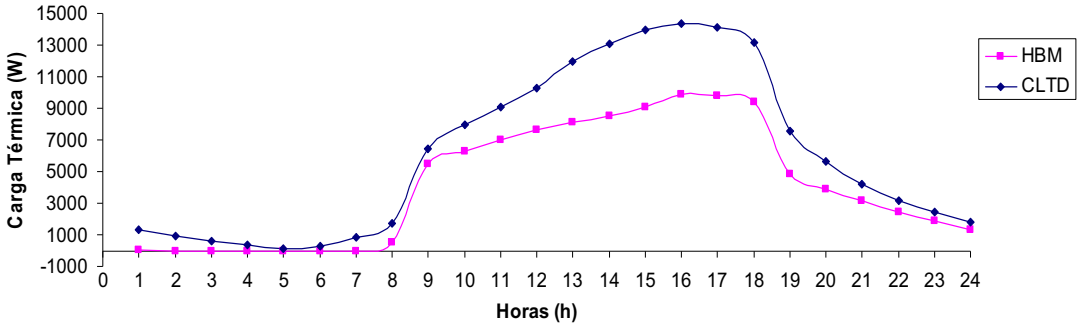


Figura 7.1 – Comparação entre as metodologias HBM e CLTD

Observa-se que o comportamento da carga térmica calculada pelo método CLTD possui valores superiores em todas as horas do dia. A diferença mais crítica ocorre durante o horário de ocupação da edificação, que inicia às 08h00min e termina às 18h00min. A diferença de carga térmica média calculada para esse período foi de 29,6%.

Para determinar a origem dessa diferença, avaliam-se separadamente os comportamentos das cargas internas relativas aos equipamentos, iluminação e pessoas.

A FIGURA 7.2 apresenta esse comparativo.

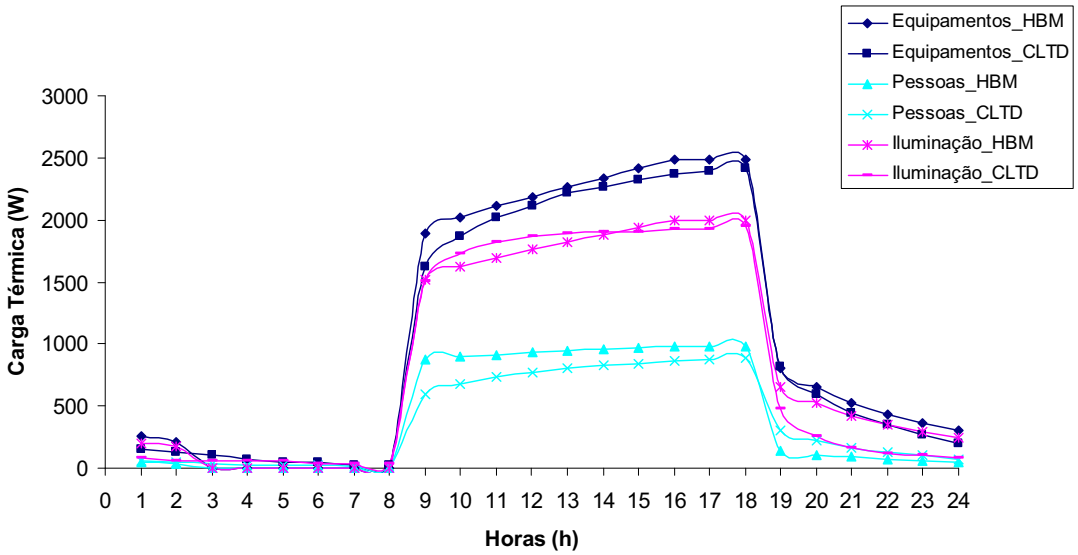


Figura 7.2 – Comparação entre as cargas internas para os métodos HBM e CLTD

Nota-se um comportamento semelhante entre os as cargas térmicas internas. Porém existe uma diferença média entre os valores durante o horário de ocupação de 4,6% para equipamentos, 15% para ocupantes e 1,2% para iluminação. Essa diferença é relativa aos valores de CLTD tabelados para cargas internas e os fatores de ponderação da ASHRAE utilizados pelo método do balanço de energia.

O segundo passo é a análise isolada da carga térmica relativa à envoltória. A FIGURA 7.3 apresenta os valores para ambos os métodos.

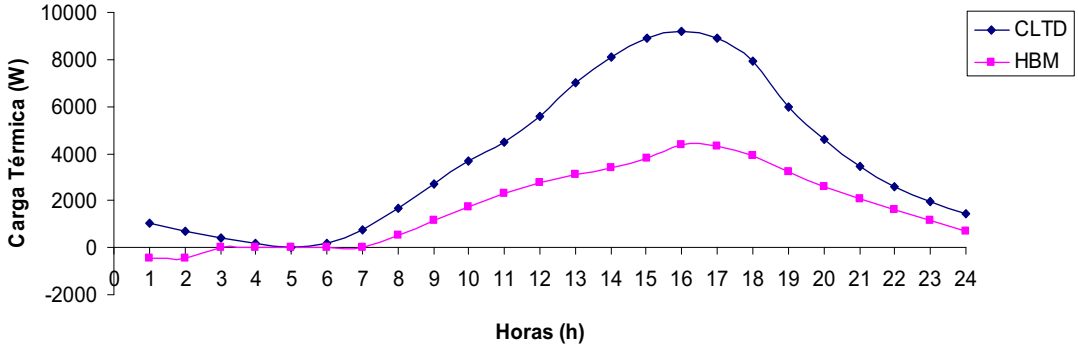


Figura 7.3 – Comparativo entre carga térmica horária para envoltória

A FIGURA 7.3 mostra que o fator responsável pela grande diferença nos resultados de carga térmica calculada através dos métodos CLTD e HBM, são as cargas transferidas pela envoltória da edificação. Observa-se que, para o horário de ocupação do edifício existe uma diferença média entre os valores de carga térmica de 45,2% e que no horário de pico, que ocorre às 16h:00min, essa diferença é de 52%.

A partir dos valores de carga térmica calculados pelos dois métodos, os condicionadores de ar por expansão direta do tipo *split*, marca Carrier são apresentados na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Condicionadores de ar dimensionados para cada metodologia

Método	Carga Térmica (W)	FCS	Modelo	Capacidade (Btu/h)	Qtd
CLTD	14371,7	0,94	38CQE036515MC	36000	2
HBM	9865,8	0,95	38CQE048235MC	48000	1
Equipamentos	Tipo	FCS	Capacidade Sensível	Consumo (kW)	
38CQE036515MC	Split Piso Teto	0,68	24480	3,98	
38CQE048235MC	Split Piso Teto	0,68	32640	4,68	

O comparativo entre os condicionadores de ar dimensionados mostra que o método CLTD acarreta no dimensionamento de um equipamento maior com um consumo de 3,28 kW a mais do que num sistema dimensionado a partir da carga térmica calculada pelo método do balanço de energia.

7.1.1 Influência dos materiais construtivos

Um dos aspectos que são avaliados neste trabalho é a influência dos materiais construtivos brasileiros em comparação com materiais de padrão norte americanos utilizados como referência para o cálculo via método CLTD.

A Tabela 7.2 apresenta os materiais brasileiros e americanos empregados na modelagem do edifício para simular a carga térmica através do método do balanço de energia no programa Domus-Procel Edifica e arquivo climático de Denver. A equivalência entre os materiais foi determinada por semelhança física e de aplicação.

Tabela 7.2 – Materiais Construtivos Brasileiros e Americanos

Materiais Brasileiros							
Propriedades material	Reboco	Tijolo 6 furos circular (10 cm)	Telha de Fibrocimento	Placa de EPS	Forro de PVC	Concreto	Madeira de Lei
Espessura (mm)	30	100	3	30	10	50	20
Massa Específica (kg/m³)	2100	1300	1400	15	1200	2400	1000
Resistência Térmica (m².K/W)	0,21	0,34	0,17	0,92	0,23	0,20	0,29
Calor Específico (J/(kg.K))	932,0	596,2	840,0	1300,0	1004,0	1000,0	1255,0

Materiais Americanos							
Propriedades material	25mm Stucco	102mm Common Brick	Asphalt Shingles	RSI-1.2 Board Insulation	13mm Gypsum Board	203mm LW Concrete	19mm Wood Board
Espessura (mm)	30	101,6	3,175	25,4	12,7	50	19
Massa Específica (kg/m³)	1858,1	1922,2	1121,3	32	800,9	640,7	544,6
Resistência Térmica (m².K/W)	0,04	0,14	0,08	1,22	0,08	0,87	0,16
Calor Específico (J/(kg.K))	840,0	840,0	1260,0	920,0	1090,0	840,0	1210,0

A FIGURA 7.4 apresenta o comportamento da carga térmica horária com ambos os padrões de materiais construtivos empregados.

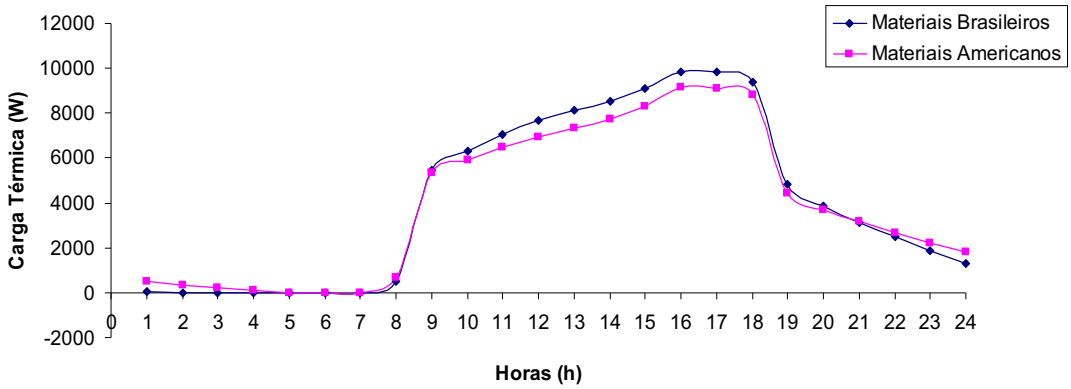


Figura 7.4 – Comparativo entre carga térmica para materiais brasileiros e americanos

Observa-se uma diferença média na carga térmica de 4,8% superior quando utilizados os materiais brasileiros, no horário crítico de 08h00min as 18h00min. Essa diferença representa uma boa aproximação por parte do método CLTD, pois não implica na escolha de novos condicionadores de ar.

Uma segunda análise para avaliar o posicionamento dos materiais construtivos dentro das paredes é realizada com o auxílio do programa Domus-Procel Edifica, empregando o arquivo climático de Denver e materiais brasileiros. O objetivo da

análise é avaliar qual o efeito na carga térmica a partir de materiais construtivos com características isolantes, posicionados nas camadas mais externas da edificação.

A Tabela 7.3 apresenta duas formas de posicionamento diferentes para os materiais dentro das paredes. O posicionamento original e modificado dos materiais.

Tabela 7.3 – Posicionamento dos Materiais Construtivos nas Paredes

Posição dos Materiais nas Paredes							
Posição nas Paredes	**(1) mais interno, até (3) mais externo**						
Paredes - Caso Original	Reboco	Tijolo 6 furos circular (10 cm)	Telha de Fibrocimento	Placa de EPS	Forro de PVC	Concreto	Madeira de Lei
Noroeste	2	1	-	-	-	-	-
Nordeste	2	1	-	-	-	-	-
Sudeste	2	1 e 3	-	-	-	-	-
Sudoeste	2	1 e 3	-	-	-	-	-
Teto	-	-	3	2	1	-	-
Piso	-	-	-	-	-	2	1
Paredes - Caso Modificado	Reboco	Tijolo 6 furos circular (10 cm)	Telha de Fibrocimento	Placa de EPS	Forro de PVC	Concreto	Madeira de Lei
Noroeste	1	2	-	-	-	-	-
Nordeste	1	2	-	-	-	-	-
Sudeste	1	2 e 3	-	-	-	-	-
Sudoeste	1	2 e 3	-	-	-	-	-
Teto	-	-	3	1	2	-	-
Piso	-	-	-	-	-	1	2

A FIGURA 7.5 apresenta os valores de carga térmica calculados para os dois modelos propostos.

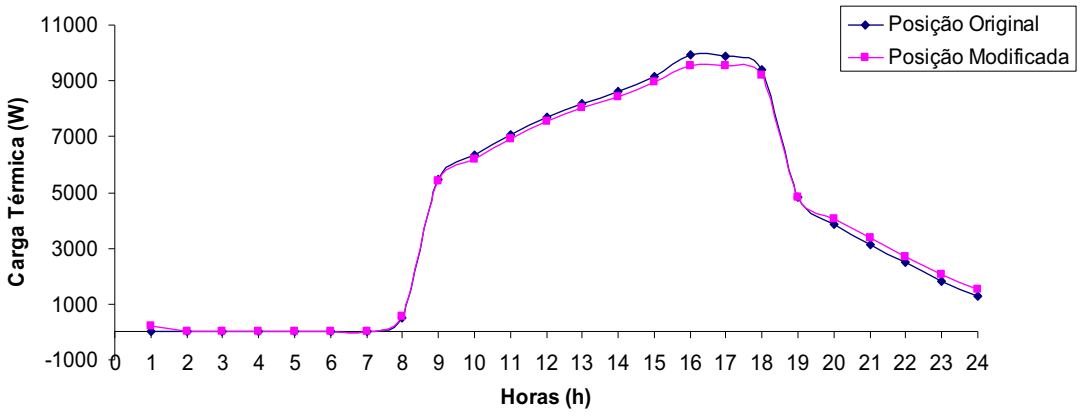


Figura 7.5 – Comportamento de carga térmica para materiais posicionados de maneira diferente

Verifica-se uma diferença de apenas 3,5% entre os valores de carga térmica de pico, obtidos para a parede original e a parede modificada. Esse fato deve-se principalmente ao efeito do posicionamento das camadas de materiais com propriedade de isolação térmica mais próxima da superfície externa das paredes. Outro ponto é que o caso escolhido possui poucos materiais com propriedades isolantes, o que torna o resultado final menos expressivo.

7.1.2 Influência do clima

No método HBM, foram utilizados os arquivos climáticos reais das três cidades brasileiras, enquanto que no método CLTD utilizou-se a equação (3.12 para corrigir os fatores de tabela retirados do manual ASHRAE *Fundamentals*. A correção acarreta no aumento ou diminuição dos valores da carga térmica horária de forma escalar a partir dos dados climáticos da cidade de Denver, fato que não acontece com os arquivos climáticos reais de outras cidades devido à realização de medições reais. O objetivo é avaliar a influência de utilizar o arquivo climático da cidade americana de Denver para uma cidade brasileira.

A FIGURA 7.6 mostra os resultados obtidos para a cidade de Curitiba.

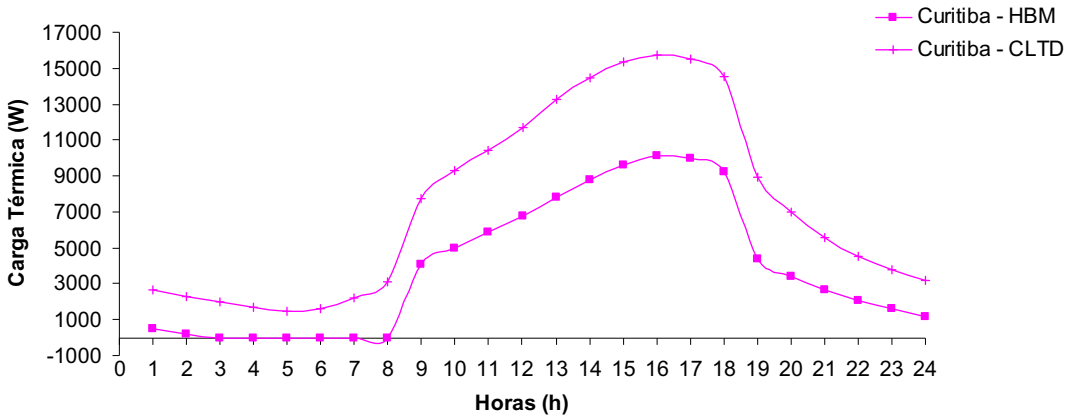


Figura 7.6 – Influência do clima para Curitiba

Os resultados são analisados descontando-se a diferença de 4,8% relativa aos materiais construtivos brasileiros e americanos. A diferença média percentual no horário crítico (08h00min às 18h00min) para a cidade de Curitiba foi de 41,2%.

A FIGURA 7.7 mostra os resultados calculados para a cidade de São Paulo.

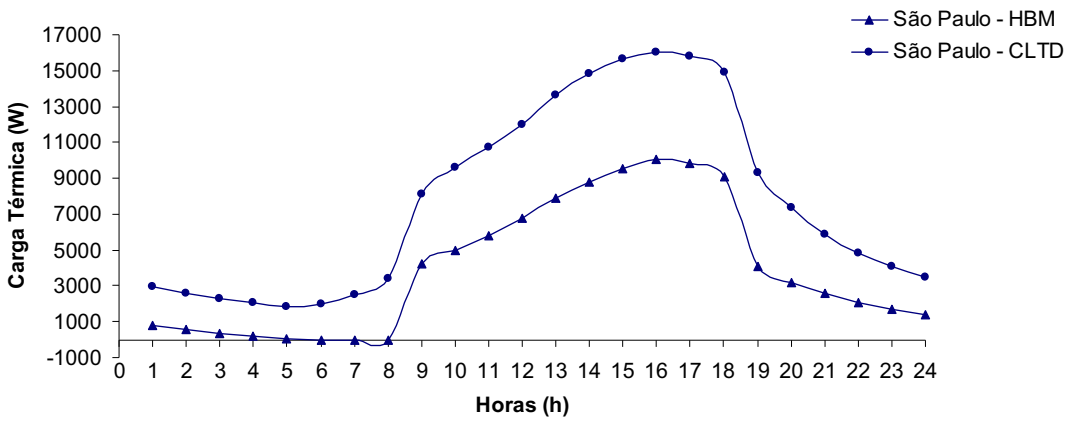


Figura 7.7 – Influência do clima para São Paulo

A diferença média no horário crítico (08h00min às 18h00min) para a cidade de São Paulo foi de 42,6%.

A FIGURA 7.8 mostra os resultados calculados para a cidade de Cuiabá.

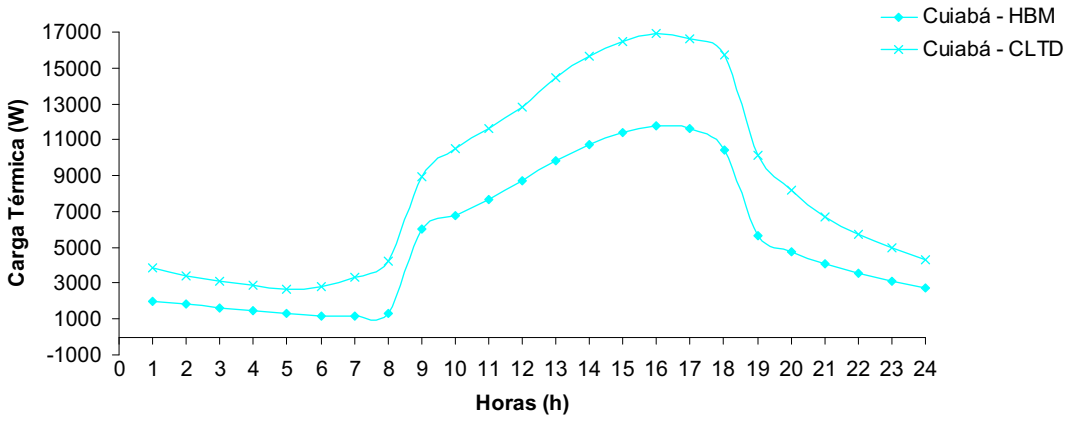


Figura 7.8 – Influência do clima para Cuiabá

A diferença média entre os valores de carga térmica calculados no horário crítico (08h00min às 18h00min) para a cidade de Cuiabá foi de 30,9%.

Observa-se que o método CLTD através da correção dos fatores, determina um incremento fixo nos valores de carga térmica partindo da condição inicial que são os valores de CLTD para Denver (sem correções).

Uma forma de ajustar o método CLTD para aplicação nas cidades brasileiras seria calcular os valores de CLTD tabelados para o clima de cada uma das três cidades escolhidas. Esse ajuste eliminaria o erro relativo localização geográfica e condições naturais totalmente diferentes. Nesse sentido, Chaiyapinunt *et al.* (2003) apresentaram as diferenças entre os valores de CLTD tabelados nos manuais da ASHRAE, em relação aos novos valores calculados para a cidade de Bancoc. Os resultados obtidos mostraram uma grande divergência nos valores de carga térmica encontrados para as paredes leste, oeste e para o telhado.

7.1.3 Dimensionamento de Condicionadores de Ar via CLTD e HBM

A influência do cálculo de carga térmica é refletida diretamente no dimensionamento dos condicionadores de ar. Para dimensionar os equipamentos utiliza-se a carga térmica de pico calculada para ambos os métodos nas cidades de Curitiba, São Paulo e Cuiabá.

Os condicionadores de ar dimensionados são de expansão direta do tipo *split*, modelo piso teto da Carrier. As curvas de desempenho desses equipamentos não são disponibilizadas pelo fabricante, dessa forma utilizaram-se as curvas adimensionais presentes na biblioteca do Domus-Procel Edifica, referentes a equipamentos com características semelhantes.

A Tabela 7.4 apresenta os condicionadores de ar dimensionados através dos métodos CLTD e HBM, para as três cidades brasileiras.

Tabela 7.4 – Dimensionamento de Condicionadores de Ar

Cidades	Carga Térmica CLTD (W)	FCS	Modelo	Capacidade (Btu/h)	Qtd	Consumo Nominal (kW)
Curitiba	15735,8	0,94	42LUCA030515LC	30000	3	3,16
São Paulo	16054,2	0,94	42LUCA030515LC	30000	3	3,16
Cuiabá	16895,4	0,94	42LUCA030515LC	30000	3	3,16
Cidades	Carga Térmica HBM (W)	FCS	Modelo	Capacidade (Btu/h)	Qtd	Consumo Nominal (kW)
São Paulo	10021,5	0,95	38CQE048235MC	48000	1	4,68
Curitiba	10127,1	0,95	38CQE048235MC	48000	1	4,68
Cuiabá	11806,0	0,95	38CQE060235MC	58000	1	6,05

O consumo dos condicionadores de ar é previsto por simulação computacional através do programa Domus-Procel Edifica. A FIGURA 7.9 mostra o consumo mensal dos equipamentos dimensionados pelos métodos CLTD e HBM considerando os arquivos climáticos referentes às três cidades e seu funcionamento durante o horário comercial.

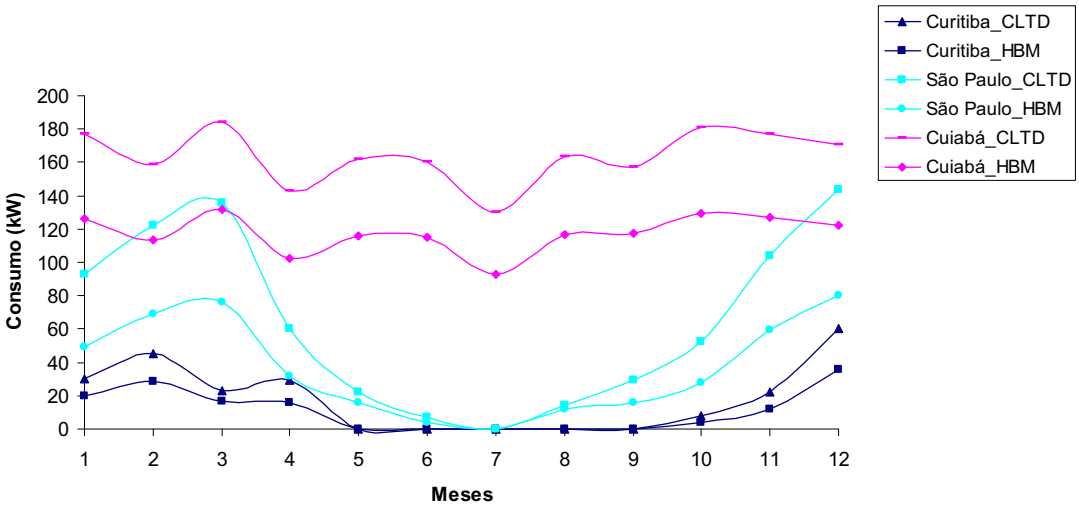


Figura 7.9 – Consumo de energia dos condicionadores de ar

A análise da simulação computacional realizada permite avaliar as consequências do superdimensionamento dos condicionadores de ar devido ao método de cálculo de carga térmica. Em todos os casos, os equipamentos dimensionados pelo método CLTD apresentam um consumo mais elevado. Para Curitiba nota-se uma

diferença média de 23,4%, em São Paulo 37,9% e Cuiabá 28,1% a mais no consumo de energia elétrica.

Além dos prejuízos econômicos os compressores superdimensionados costumam operar no modo liga/desliga conforme a temperatura programada pelo usuário. Esses ciclos acarretam numa diminuição da vida útil dos compressores e também num consumo de energia necessário para a partida e equalização das pressões do circuito de refrigeração do condicionador de ar.

7.2 RESULTADOS CASO II

Nessa etapa apresentam-se os resultados obtidos através dos métodos, prescritivo e da simulação, indicados pela RTQ-C do INMETRO para avaliar a eficiência energética da edificação correspondente ao segundo estudo de caso. Primeiro utiliza-se o método prescritivo para avaliar as parcelas relativas à envoltória, iluminação e sistema de condicionamento de ar. Nesse caso, analisam-se dois cenários diferentes, a edificação com um sistema central a ar por expansão direta e com um sistema central a água por expansão indireta. Além disso, aplica-se uma pontuação de bonificação devido a um sistema para economia de água potável.

7.2.1 Resultados pelo método prescritivo

A edificação do segundo estudo de caso foi utilizada para se aplicar tanto o método prescritivo da RTQ-C como o da simulação empregando-se do programa Domus-Procel Edifica. O processo foi executado considerando a cidade de Curitiba que faz parte da zona bioclimática 1.

Para obter a etiqueta relativa à envoltória, aplicou-se a equação (5.1) presente na RTQ-C, considerando área de projeção do edifício (A_{pe}) menor que 500 m² e os parâmetros apresentados na Tabela 6.4.

A Tabela 7.5 apresenta os intervalos que determinam as classificações possíveis para a parcela da envoltória.

Tabela 7.5 – Limite dos intervalos de níveis de eficiência para Envoltória

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite Mínimo	-	134,115	139,468	144,822	150,175
Limite Máximo	134,105	139,458	144,812	150,165	-

Como o IC_{env} calculado foi de 136,24 e este valor está dentro da faixa para o nível "B" da Tabela 7.5, porém devem-se avaliar os pré-requisitos referentes à transmitância térmica antes de determinar a classificação final para a envoltória.

A Tabela 7.6 apresenta os valores dos pré-requisitos para avaliar a classificação da envoltória no critério transmitância térmica da parede.

Tabela 7.6 – Análise de Pré-requisitos para classificação da Envoltória

Pré-Requisitos	A	B	C	D	Calculado
Transmitância Térmica das Paredes Externas W/(m².K)	1,00	2,00	3,70	3,70	2,61
Absortância Térmica das Paredes Externas	-	-	-	-	0,30
Transmitância Térmica da Cobertura Não Condicionada W/(m².K)	1,00	1,50	2,00	2,00	0,84
Absortância Térmica da Cobertura Não Condicionada	-	-	-	-	0,20
Transmitância Térmica da Cobertura Condicionada W/(m².K)	0,50	1,00	2,00	2,00	0,84
Absortância Térmica da Cobertura Condicionada	-	-	-	-	0,20

Verifica-se que mesmo o IC_{env} estando dentro da faixa de classificação "B", a análise de pré-requisitos determina a classificação "C" para esta parcela devido ao valor da transmitância térmica das paredes externas ultrapassar o limite máximo de 2,00 W/(m².K).

Para determinar a etiqueta de eficiência energética do sistema de iluminação, adotou-se o método da área do edifício. A atividade exercida no prédio é classificada como sendo de escritório. Os três pré-requisitos que são divisão dos circuitos, contribuição com luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação foram atendidos.

A Tabela 7.7 apresenta para a atividade de escritório os valores de referência para classificar o sistema de iluminação.

Tabela 7.7 – Classificação do Sistema de Iluminação

Atividade de Escritório	A	B	C	D	Calculado
DPI (W/m²) - Térreo	9,70	11,20	12,60	14,10	12,70
DPI (W/m²) - Primeiro Pavimento	9,70	11,20	12,60	14,10	12,10
DPI (W/m²) - Segundo Pavimento	9,70	11,20	12,60	14,10	12,10
DPI (W/m²) - Total Edifício	9,70	11,20	12,60	14,10	12,30

Observa-se que a etiqueta final para iluminação foi “C”, mesmo com todos os três pré-requisitos atendidos, a análise de densidade de potência instalada para a atividade de escritório acarretou nessa classificação.

A parcela de condicionamento de ar foi avaliada em duas etapas. Primeiro levou-se em conta os equipamentos originais instalados no edifício, ou seja, um sistema central a ar de expansão direta. Esse sistema apresentou classificação de eficiência energética “C” de acordo com os critérios estabelecidos pelo INMETRO e que são apresentados na Tabela 5.7. O equivalente numérico para essa solução resultou no valor de 3,98.

Para melhorar a classificação do edifício, estimou-se o nível de eficiência energética empregando-se um sistema de condicionamento de ar central diferente, no caso um sistema a água por expansão indireta. Esse sistema respeita os critérios de sombreamento dos trocadores de calor e isolamento térmico da tubulação, exigidos

pela RTQ-C. Os dois resfriadores de líquido (*chiller*) com condensação a ar possuem COP equivalente a 2,87, valor que de acordo com a Tabela 5.8, classifica o equipamento como “A”.

A FIGURA 7.10 apresenta uma representação esquemática do sistema de condicionamento central a água que poderia ser empregado em alternativa ao sistema central a ar por expansão direta.

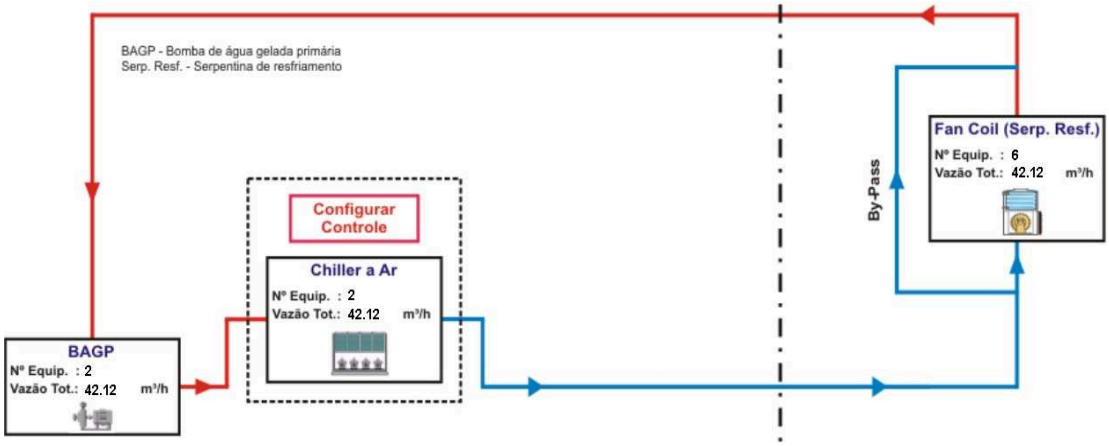


Figura 7.10 – Sistema central a água proposto

Os equipamentos que fazem parte do sistema são dois resfriadores de líquido da marca TRANE, modelo RTAA 125 com capacidade de 38,7 TR cada um e COP de 2,87; seis fan-coils de água gelada com capacidades que variam de 10,2 TR a 15,5 TR e uma bomba centrífuga com vazão de 42,12 m³/h e potência de 3,7 kW.

Os dados referentes aos equipamentos empregados no sistema de climatização a ar, assim como os coeficientes necessários para modelar as curvas de desempenho no programa Domus-Procel Edifica, quando do emprego do método de simulação, são apresentados no Anexo B.

Com a definição das três parcelas responsáveis pela eficiência energética do edifício, as possíveis classificações gerais de eficiência energética, obtidas através do método prescritivo, são apresentadas na Tabela 7.8.

Tabela 7.8 – Classificação Geral pelo Método Prescritivo

Composições	Envoltória	Iluminação	SCA-ED*	SCA-EI**	Bonificação	Classificação Geral
1	C	C	C			C
2	C	C	C		0,67	B
3	C	C		A		B
4	C	C		A	0,67	A

*SCA-ED: Sistema Central a ar por expansão direta
**SCA-EI: Sistema Central a água por expansão indireta

A primeira composição utiliza o sistema de condicionamento original do edifício (sistema central a ar por expansão direta) e não possui a pontuação de bonificação. Essa estratégia proporciona uma ENCE geral nível "C" para o edifício. A segunda composição é a que está aplicada originalmente no edifício. Além das mesmas pontuações da primeira, considera-se a pontuação obtida pelo sistema hidráulico de economia de água. Dessa forma a classificação geral atingida foi "B". A composição de número 3 considera o sistema de condicionamento de ar central a água por expansão indireta, proposto para obter uma melhor classificação geral de eficiência energética. Observa-se que a partir da aplicação dessa solução e dispensada a pontuação de bonificação têm-se uma ENCE geral nível "B". A última composição possui o novo sistema de condicionamento de ar proposto e também a aplicação da pontuação de bonificação, resultando numa ENCE geral nível "A" para o edifício.

7.2.2 Resultados pelo método da simulação

O método da simulação foi aplicado através do programa Domus-Procel Edifica. O programa calculou os modelos de referência para cada classificação (A, B, C e D). A partir desse ponto foram realizadas quatro simulações para comparar o edifício modelado com cada modelo de referência gerado. O resultado final baseia-se na simulação que mais se aproxima do modelo de referência calculado.

A simulação completa consumiu um tempo de processamento computacional equivalente a 9 horas e 42 minutos, utilizando-se um computador com processador INTEL *Dual Core* 2,1 GHz, 4 GB de memória RAM e sistema operacional Windows 7 Home Premium de 64 bits.

A etiqueta obtida pelo método da simulação sem o emprego da bonificação por economia de água é apresentada na FIGURA 7.11.

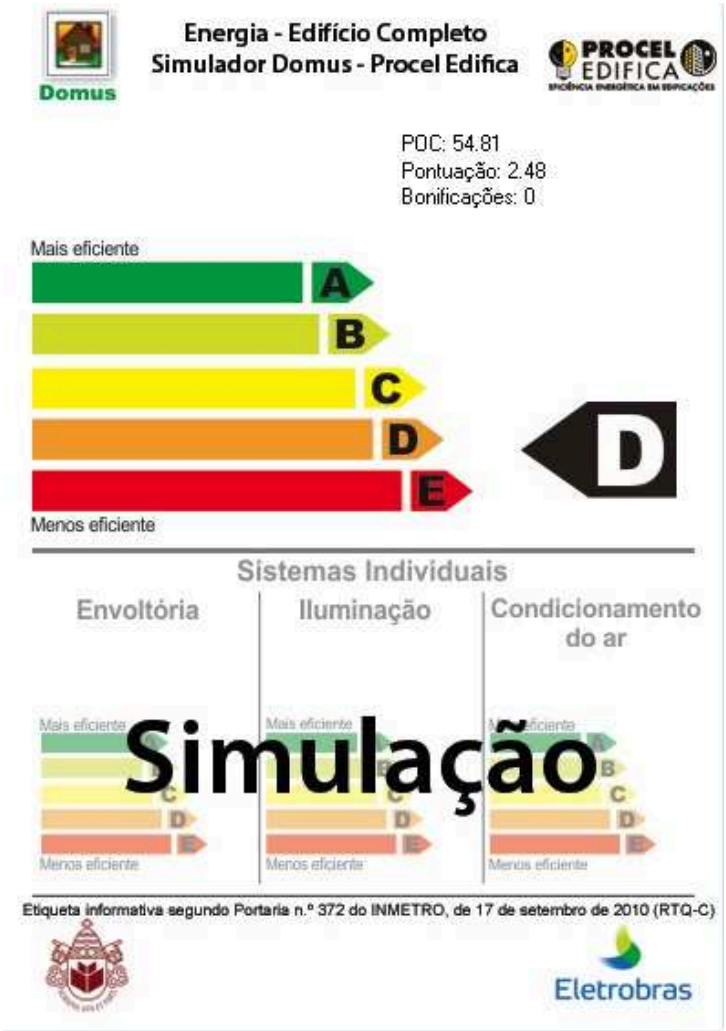


Figura 7.11 – ENCE sem bonificações

O índice de consumo real da edificação calculado pelo programa Domus-Procel edifica foi de 213,3 kW, enquanto os índices de referência foram de 166,8 kW para a etiqueta A, 192,6 kW para B, 216,6 kW para C e 242,4 kW para a etiqueta D.

A ENCE obtida com a aplicação da pontuação de bonificação obtida através do sistema de economia de água potável é apresentada na FIGURA 7.12.

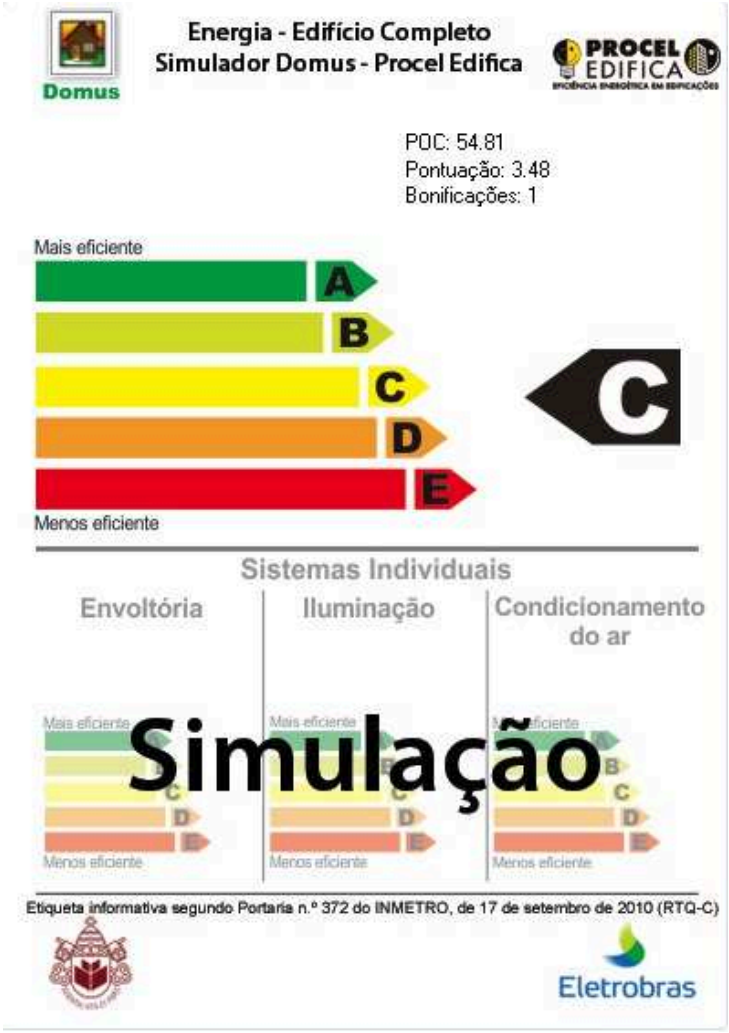


Figura 7.12 – ENCE com bonificações

O método da simulação realizado através do programa Domus-Procel Edifica, permite ao usuário abrir e analisar os modelos de referência criados pelo *software* a partir do modelo que se está avaliando. Nessa análise é possível verificar soluções simples para melhorar a etiqueta do edifício avaliado.

Verifica-se que o modelo de referência criado pelo programa para etiqueta B, não modifica nenhum material construtivo da envoltória, porém na parte da iluminação, a densidade de potência instalada é diminuída para 11,2 W/m², enquanto a

área envidraçada na face norte é aumentada em 136%, na face oeste para 128% e na face sul o aumento foi de 135%.

O modelo de referência para etiqueta A, modifica as paredes externas de toda edificação, aplicando uma camada de material isolante (EPS) equivalente a 2,6 cm na face externa. No telhado aplicou-se uma camada de isolante de 3,7 cm (EPS) na face externa. No que se refere à iluminação, observou-se que a DPI foi reduzida para 9,7 W/m², enquanto as áreas envidraçadas foram aumentadas em 39% na face norte, oeste e sul.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho analisa dois aspectos diretamente relacionados com o aumento do consumo de energia elétrica em edificações públicas e comerciais: o cálculo de carga térmica e a eficiência energética de sistemas de condicionamento de ar. O que motivou o estudo de edifícios escritório foi a grande representatividade no consumo de energia elétrica ocasionado por essa classe de edificação no cenário brasileiro. O objetivo desse trabalho foi de contribuir para o aprimoramento do processo de etiquetagem de edificações de pequeno e grande porte, sobretudo da parcela referente aos sistemas de condicionamento de ar. A abordagem desse trabalho foi motivada pela necessidade de aprofundar o conhecimento sobre o método de cálculo de carga térmica CLTD (*Cooling Load Temperature Difference*), indicado pela norma ABNT NBR 16401:2008; e também analisar o comportamento de diferentes sistemas de condicionamento aplicados conforme a RTQ-C (Regulamentação Técnica de Qualidade) do INMETRO para avaliação da eficiência energética em edificações públicas e comerciais brasileiras.

O trabalho apresenta contribuições no aprofundamento do conhecimento acerca dos métodos de cálculo de carga térmica CLTD e balanço de energia, quando utilizados em cidades brasileiras; no efeito da utilização de materiais tipicamente brasileiros e no posicionamento dos mesmos dentro da parede nos resultados finais. Além disso, diferentes sistemas de condicionamento de ar foram apresentados e modelados computacionalmente para avaliar a ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) de uma edificação conforme a RTQ-C.

O edifício de pequeno porte serviu para avaliar a predição de dois diferentes métodos de cálculo de carga térmica, o CLTD (*Cooling Load Temperature Difference*) indicado pela norma ABNT NBR 16408:2008 para aplicações em edificações mais simples e o método do balanço de energia que foi aplicado através de simulação computacional. Os resultados obtidos mostraram que os valores de carga térmica através do método CLTD são por volta de 20% a 30% maiores do que os valores

obtidos pelo método do balanço de energia. Essa diferença está relacionada com as incertezas do método CLTD, o qual utiliza materiais construtivos no padrão americano e o arquivo climático da cidade de Denver numa latitude de 40°N. O método do balanço de energia aplicado através de simulação computacional reduziu sensivelmente essas incertezas, uma vez que foi possível aplicar o arquivo climático original de cada cidade onde ocorreu a simulação e os materiais construtivos aplicados no modelo são tipicamente brasileiros.

Além disso, a simulação computacional permitiu verificar que existe nos valores de carga térmica calculados para um mesmo caso que utiliza materiais americanos em relação àqueles utilizados no Brasil. Outro ponto interessante é a posição dos materiais dentro da parede. Através de uma comparação, alterando-se a posição de algumas camadas nas paredes do edifício de pequeno porte, observou-se uma diferença de 3,2% nos valores de carga térmica encontrados. Essa verificação está relacionada com a inércia térmica dos materiais, a qual não pode ser observada no método CLTD devido aos coeficientes serem fixados para tipos de paredes pré-determinadas.

A avaliação da predição da carga térmica realizada através do primeiro estudo de caso mostra que o método HBM aplicado através da ferramenta de simulação computacional considera um maior número de variáveis, além de considerar o arquivo climático real das cidades brasileiras.

Outro aspecto de relevância está relacionado com a norma ABNT NBR 16401:2008 que indica o método CLTD para o cálculo de carga térmica de edificações mais simples. A principal consequência da utilização do resultado de carga térmica de pico obtido através desse método para o dimensionamento dos condicionadores de ar é o superdimensionamento dos equipamentos. Os resultados mostram que em Curitiba o consumo de energia elétrica é 23,4% superior ao necessário, para São Paulo essa diferença sobe para 37,9%, enquanto em Cuiabá que possui um clima com menos variações de temperatura durante o ano, o consumo foi de 28,1% a mais.

O edifício de grande porte localizado na zona bioclimática 1 e apresentado no segundo estudo de caso deste trabalho serviu para a aplicação da RTQ-C através dos métodos prescritivo e da simulação. O principal propósito foi verificar a influência de dois diferentes sistemas de condicionamento de ar através de simulação computacional na ENCE.

O método prescritivo foi aplicado através da ferramenta de simulação computacional para as parcelas da envoltória, iluminação e sistema de condicionamento de ar. A parcela referente ao sistema de condicionamento de ar mostrou que o sistema central a ar por expansão direta original, classificado como "C" proporcionou uma classificação final "C" sem a pontuação de bonificação e "B" adicionando a pontuação do bônus. O sistema central a água por expansão indireta que foi proposto, obteve classificação "A" pela RTQ-C e proporcionou uma ENCE geral "B" sem a bonificação e "A" com a pontuação.

Já o método da simulação mostrou que necessita de um elevado tempo de processamento computacional que é diretamente proporcional ao nível de complexidade do modelo proposto e também ao passo de tempo aplicado. Para o segundo estudo de caso, utilizando-se um passo de tempo de cinco minutos, foram necessárias nove horas e quarenta e dois minutos para finalizar a simulação através do programa de simulação higrotérmica e energética de ambientes Domus-Procel Edifica (MENDES *et al.*, 2003).

O método da simulação provou ser mais flexível, pois através de uma análise nos modelos de referência criados pelo *software*, o usuário pode utilizar estratégias mais simples e de menor custo para obter melhores resultados no processo de etiquetagem.

Como sugestão para trabalhos futuros e possíveis aplicações do presente trabalho, propõe-se:

- Avaliar a carga térmica do primeiro estudo de caso através do método CLTD com coeficientes calculados para cada uma das três cidades brasileiras e compará-los aos resultados obtidos neste trabalho;

- Aplicar o método de cálculo de carga térmica RTS (*Radiant Time Series*) para o primeiro estudo de caso;
- Utilizar outros materiais construtivos na edificação de pequeno porte e aplicar uma camada de isolante para avaliar a diferença nos resultados de carga térmica quando se altera a posição dos mesmos dentro da parede;
- Avaliar o comportamento da umidade nas paredes do primeiro estudo de caso e o seu efeito no comportamento da carga térmica;
- Aplicar o método do balanço de energia para calcular a carga térmica do edifício de grande porte no segundo estudo de caso;
- Verificar a eficiência energética de um sistema de condicionamento de ar por termoacumulação comparado com o sistema central à água por expansão indireta aplicado no segundo estudo de caso;
- Avaliar o efeito do sombreamento sobre a envoltória através do método da simulação conforme orientações da RTQ-C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ***NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações -*** Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____ ***NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações*** - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____ ***NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações*** – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

ABNT. ***NBR 16.401-1: Instalações de ar condicionado – Sistemas Centrais e Unitários –*** Parte 1: Projeto das Instalações . Rio de Janeiro, 2008a.

_____ ***NBR 16.401-2: Instalações de ar condicionado – Sistemas Centrais e Unitários –*** Parte 2: Parâmetros de Conforto Térmico. Rio de Janeiro, 2008b.

_____ ***NBR 16.401-3: Instalações de ar condicionado – Sistemas Centrais e Unitários –*** Parte 3: Qualidade do Ar Interior. Rio de Janeiro, 2008c.

ASHRAE **–** ***AMERICAN SOCIETY OF HEATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Fundamentals.*** 1997. ed. Atlanta: ASHRAE, 1997

ASHRAE **–** ***AMERICAN SOCIETY OF HEATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Fundamentals.*** 2001. ed. Atlanta: ASHRAE, 2001

ASHRAE **–** ***AMERICAN SOCIETY OF HEATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. Applications.*** 1999. ed. Atlanta: ASHRAE, 1999

ABADIE, M. O.; MENDES, N. ***Comparative Analysis between Response-Factor and Finite-Volume based Methods for predicting Heat and Moisture Transfer through Porous Building Materials***. Journal of Building Physics, Volume 30, p. 7-37, 2006.

AL-SANEA, S.A.; ZEDAN, M.F. ***Improving thermal performance of building walls by optimizing insulation layer distribution and thickness for same thermal mass.*** Applied Energy, Volume 88, 2011.

ASAN H.A. ***Investigation of wall's optimum insulation position from maximum time lag and minimum decrement factor point of view.*** Energy and Buildings, Volume 32, 2000.

BARBOSA, R. M.; MENDES, N.; FREIRE, R. Z.; OLIVEIRA, R. C. L. F. ***A Simulation Environment for Performance Analysis of HVAC Systems.*** IBPSA-Building Simulation, Volume 1, Number 2. 2008

BATISTA, N. N; LA ROVERE, E. L; ***Energy efficiency labeling of buildings: An assessment of the Brazilian case***. Energy and Buildings, Volume 43, pp. 1179-1188. 2011

CARLO, J. C. ***Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais.*** 2008. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. 2008

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. ***Parâmetros e Métodos adotados no Regulamento de Etiquetagem da Eficiência Energética de Edifícios – Parte 1: MétodoPrescritivo e Parte 2: Método de Simulação.*** Ambiente Construído, Porto Alegre, Volume 10, número 2. 2010.

CEYLAN, H. T.; MYERS, G. E. ***Long-time Solutions to Heat Conduction Transients with Time-Dependent Inputs.*** ASME Journal of Heat Transfer, Volume 102, No. 1, pp. 115-120. 1980

CHAIYAPINUNT, S.; SUMITRA, T.; MANGKORNSAKSIT, K. ***Assessment matrix for FTI/DOE and TRACE600.*** Journal of Energy, Heat and Mass Transfer 21, 33-44. 1999

CHURCHILL, R. V. ***Operational Mathematics.*** 2 ed. New York, McGraw-Hill. 1959

EPE, ***Nota Técnica DEA 03/11 – Projeção para a Demanda de Energia Elétrica para os próximos 10 anos.*** 2007. Disponível em: http://www.epe.gov.br/default.aspx

FROTA, B. A.; SCHIFFER, R. S. ***Manual de Conforto Térmico: Arquitetura e Urbanismo.*** 7. ed. São Paulo : Studio Nobel, 2003

HILL, J. E.; FURLONG, R. R. ***ASHRAE Cooling Load Calculation.*** ASHRAE Journal, Atlanta, p. 61-66, May 1973

HOWEL, H. R.; SAUER, H. J.; COAD, W. J. ***Principles of Heating, Ventilating and Air Conditioning.*** 1998. ed. Atlanta: ASHRAE, 1998

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. ***Fundamentos de Transferência de Calor e Massa.*** 6. ed. Rio de Janeiro : LTC, 2008

JUDKOFF R.D. e NEYMARK J.S. ***Building Energy Simulation Test (BESTest) and Diagnostic Method,*** NREL/TP-472-6231, Golden, Colorado National Renewable Energy Laboratory, 1995.

KUEHN, T. H.; RAMSEY, J. W.; THRELKELD, J. L. ***Thermal Environmental Engineering.*** 3. ed. New Jersey: University of Minnesota, 1998.

LOPES, M. N.; IWAMOTO, G.; RIELLA, H. L.; LAMBERTS, R.; CAMPOS, L. M. S. ***The Building Simulation as an Alternative Method in Brazilian Energy Efficency Labeling of Comercial Buildings.*** Proceedings of the 12th International IBPSA Conference, 1: 2055-2063, Sydnei, 2011

MCQUISTON, F. C.; PARKER, J. D.; SPITLER, J. D. ***Heating, Ventilating and Air Conditioning – Analisys and Design.*** 6. ed. Oklahoma: Oklahoma State University, 2005.

MEISSNER, J. W; MENDES, N; ABADIE, M. O; MENDONÇA, K. C; MOURA, L. M. ***Curvas Características para Simulação de Condicionadores de Ar de Pequeno Porte.*** Mercofrio 2008, Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul. 2008.

MENDES, N; OLIVEIRA, RCLF; SANTOS, G.H. **DOMUS 2.0: A whole-building hygrothermal simulation program.** Proceedings of the 8th International IBPSA Conference, 1: 863-870, Eindhoven, The Netherlands, 2003a.

MENDES, N.; PHILIPPI, P. C.; LAMBERTS, R. ***A New Mathematical Method to Solve Highly-Coupled Equations of Heat and Mass Transfer. International Journal of Heat and Mass Transfer***. Volume 45, p. 509-518, 2002.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. ***Uso de instrumentos Computacionais para Análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil.*** Ambiente Construído, Porto Alegre. 2005.

MENDES, N.; WINKELMANN, F. C.; LAMBERTS, R.; PHILIPPI, P. C. ***Moisture Effects on Conduction Loads.*** Energy and Buildings, Volume 35, p. 631-644, 2003b.

CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (Procel Edifica). ***Informações Institucionais***. Brasília, DF, 2012. Disponível em: http://www.procelinfo.com.br. Acesso em: 05 de novembro de 2012.

MITALAS, G. P. 1972. ***Transfer function method of calculating cooling loads, heat extraction rate, and space temperature.*** ASHRAE Transactions 14(12):52. 1972

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. ***Princípios de Termodinâmica para Engenharia.*** 4. ed. Rio de Janeiro : LTC, 2002

OUYANG, K.; HAGHIGHAT, F. ***A Procedure for Calculating Thermal Response Factors of Multilayered Walls State Space Method.*** Building and Environmental, Volume 26, No. 2, pp. 173-177. 1991

PEREIRA, G. C. C; MENDES, N. ***Empirical modeling of room air conditioners for building energy analysis***. Energy and Buildings, Volume 47, p. 19-26. 2012

POZZA, F. ***Análise Térmica e Energética de uma Edificação Residencial com Ar Condicionado VRF – Fluxo de Refrigerante Variável.*** 2011. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul . 2011

REY, F. J; VELASCO, E; VARELA F.. ***Building Energy Analysis (BEA): A methodology to assess building energy labelling***. Energy and Buildings, Volume 39, pp. 709-716. 2006

RUDOY, W., DURAN, F. ***Development of an Improved Cooling Load Calculation Method.*** ASHRAE Transaction 81(2):19-69. 1975

S. A. AL-SANEA; M.F. ZEDAN;. ***Improving thermal performance of building walls by optimizing insulation layer distribution and thickness for same thermal mass.*** Applied Energy, Volume 88, pp. 709-716. 2011

SANTOS, G. H.; MENDES, N. ***Analysis of Numerical Methods and Simulation time step effects on the Prediction of Building Thermal Performance.*** Applied Thermal Engineering, v. 24, n. 8-9, p. 1129-1142, 2004.

SANTOS, G. H.; MENDES, N. ***Unsteady Combined Heat and Moisture Transfer in Unsaturated Porous Soils***. Journal of Porous Media, USA, Volume 8, p. 493-510, 2005.

SEEM, J. E. ***Modeling of Heat Transfer in Buildings.*** Ph.D Thesis, University of Wisconsin Madison. WI. 1987

SPITLER, J. D. ***Load Calculation Applications Manual.*** ASHRAE RP-1326. 2010

SPITLER, J.D., FISHER, D.E., PEDERSEN C.O.. 1997. ***The radiant time series cooling load calculation procedure***. ASHRAE Transactions 103(2).

STEPHENSON, D. G., MITALAS, G. P. ***Calculation of Heat Conduction Transfer Functions for Multilayer Slabs.*** ASHRAE Transaction 77: pp 117-126. 1971

STOECKER, W. F.; SAIZ JABARDO, J. M.; ***Refrigeração Industrial.*** 2. ed. São Paulo : Blucher, 2002

STRAND, R. K., PEDERSEN, C. O; CRAWLEY, D. ***Modularization and simulation techniques for heat balance based energy and load calculation programs: the experience of the ASHRAE loads toolkit and EnergyPlus.*** In: BUILDING SIMULATION, 7º, 2001, Rio de Janeiro. ***Proceedings…*** Rio de Janeiro: IBPSA-Brasil, 2001. p43-50.

UNDERWOOD, C. P.; YIK, F. H. W.; ***Modelling Methods for Energy in Buildings.*** 1. ed. Blackwell Publishing, 2004

WANG, S. K. ***Handbook of Air Conditioning and Refrigeration***. 2. ed. McGraw-Hill, 2000.

WESTPHAL, F. S. ***Desenvolvimento de um Algoritmo para Estimativa do Consumo de Energia Elétrica de Edificações Não Residenciais a partir de Dados Climáticos Simplificados.*** 2002. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

WINES, J. ***Green Architecture.*** Milan: Taschen, 2000. 240 p.

Anexo A

Cálculos CLTD

Nesta seção são apresentados os cálculos através do método CLTD para as quatro cidades escolhidas no primeiro estudo de caso (Curitiba, Cuiabá, São Paulo e Denver). Apresentam-se as tabelas dos valores CLTD escolhidos e carga térmica obtida através destes coeficientes.

A.1 CLTD – DENVER

Cálculo do CLTD conforme dados da ASHRAE

Parede Sudeste (SE): Utiliza-se a orientação NE devido a inversão dos pólos.

Tijolo 6 furos: 2 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Uequiv 2,46 w/m.ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 26 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	4	3	2	1	0	0	4	9	14	17	18	17	17	16	16	16	16	16	14	12	10	8	7	5
ICL (w)	255,84	191,88	127,92	63,96	0,00	0,00	255,84	575,64	895,44	1087,32	1151,28	1087,32	1087,32	1023,36	1023,36	1023,36	1023,36	1023,36	895,44	767,52	639,60	511,68	447,72	319,80

Parede Noroeste (NO): Utiliza-se a parede SO devido a inversão dos pólos

Tijolo 6 furos: 1 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Uequiv 3,41 w/m.ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 16 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	7	5	3	2	1	1	1	1	2	3	5	8	12	17	22	27	31	32	30	25	20	16	12	9
ICL (w)	381,92	272,80	163,68	109,12	54,56	54,56	54,56	54,56	109,12	163,68	272,80	436,48	654,72	927,52	1200,32	1473,12	1691,36	1745,92	1636,80	1364,00	1091,20	872,96	654,72	491,04

Vidros e Sombreamento

q=A.(SC).(SCL)+U.A.(CLTD)

CLTD para placas de vidro 4mm: conforme equivalência obtida através do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SCL (W/m²)	0	0	0	0	0	28	54	76	95	110	123	202	318	419	476	475	419	293	110	54	25	13	6	3
SC	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
Área (m²)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
CLTD	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	2	4	5	7	7	8	8	7	7	6	4	3	2	2	1
U	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
ICL (w)	0,26	0,00	-0,26	-0,26	-0,26	206,94	399,34	562,40	703,26	814,52	911,25	1496,11	2355,03	3102,43	3524,50	3546,70	3102,43	2170,03	815,57	400,65	185,79	96,72	44,92	22,46

Carga Total da Parede NO (Parede 3 + Janela com Sombreamento)

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	382,18	272,80	163,42	108,86	54,30	261,50	453,90	616,96	812,38	978,20	1184,05	1932,59	3009,75	4029,95	4724,82	5019,82	4793,79	3915,95	2452,37	1764,65	1276,99	969,68	699,64	513,50

Parede Nordeste (NE): Utiliza-se a parede SE devido a inversão dos pólos

Tijolo 6 furos: 1 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Uequiv 3,41 w/m.ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 10,11 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	4	3	2	1	1	0	2	7	12	18	22	24	26	24	23	21	19	18	16	13	11	9	7	6
ICL (w)	137,90	103,43	68,95	34,48	34,48	0,00	68,95	241,33	413,70	620,55	758,45	827,40	896,35	827,40	792,93	723,98	655,03	620,55	551,60	448,18	379,23	310,28	241,33	206,85

Porta

A 1,89 m²
Uequiv 3,39 w/m.ºC

CLTD para porta: conforme equivalência obtida através do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	1	0	-1	-1	-2	0	8	18	26	31	32	31	27	22	18	17	16	14	11	8	6	4	3	2
ICL (w)	6,41	0,00	-6,41	-6,41	-12,81	0,00	51,26	115,33	166,68	198,62	205,03	198,62	172,99	140,96	115,33	108,92	102,51	89,70	70,48	51,26	38,44	25,63	19,22	12,81

Carga Total da Parede NE (Parede 3 + Porta)

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	144,31	103,43	62,54	28,07	21,66	0,00	120,21	356,65	580,29	819,17	963,48	1026,02	1069,34	968,36	908,26	832,90	757,54	710,25	622,08	499,43	417,67	335,90	260,55	219,66

Parede Sudoeste (SO): Utiliza-se a parede NO devido a inversão dos pólos

Tijolo 6 furos: 2 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Uequiv 2,46 w/m.ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 12 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	7	4	3	2	1	1	0	1	2	3	5	7	9	11	14	18	22	27	28	24	19	15	12	9
ICL (w)	206,64	118,08	88,56	59,04	29,52	29,52	0,00	29,52	59,04	88,56	147,60	206,64	265,68	324,72	413,28	531,36	649,44	797,04	826,56	708,48	560,88	442,80	354,24	266,68

Teto:

Telha Ondulada de Fibrocimento
Placa de Isopor
Forro de PVC

Uequiv 0,77 w/m².K
A 49,92 m²

CLTD Telhado 2: conforme equivalência obtida através da tabela 31 do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	1	0	-1	-2	-3	-3	-2	2	9	18	27	34	41	46	48	47	44	39	31	22	14	8	5	3
ICL (w)	38,44	0,00	-38,44	-76,88	-115,32	-115,32	-76,88	76,88	345,95	691,89	1037,84	1306,91	1575,97	1768,17	1845,04	1806,60	1691,29	1499,10	1191,59	845,64	538,14	307,51	192,19	115,32

Piso:

Piso Composto (Concreto 150mm, chapa de compensado 2x25mm e carpet 3mm)

Uequiv 0,04 w/m.ºC OBS: De acordo com o HB ASRAE 1997 o ganho térmico através do piso é considerado nulo.
A 49,92 m²

q=U.A.(to - trc)

to temperatura no ambiente adjacente
trc temperatura de projeto do espaço condicionado

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Ganho devido ao número de Pessoas:

$q = np.qs.CLF$
$q = np.ql.CLF$

np		7
qs M (W)		75
ql M (W)		55

Ganho Sensível

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,65	0,75	0,81	0,85	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,33	0,24	0,18	0,14	0,11	0,08
ICL (w)	31,5	26,25	21	15,75	10,5	10,5	5,25	5,25	341,25	393,75	425,25	446,25	467,25	477,75	488,25	498,75	504	509,25	173,25	126	94,5	73,5	57,75	42

Ganho Latente

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,65	0,75	0,81	0,85	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,33	0,24	0,18	0,14	0,11	0,08
ICL (w)	23,1	19,25	15,4	11,55	7,7	7,7	3,85	3,85	250,25	288,75	311,85	327,25	342,65	350,35	358,05	365,75	369,6	373,45	127,05	92,4	69,3	53,9	42,35	30,8

Ganho Total (Sensível + Latente)

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	54,6	45,5	36,4	27,3	18,2	18,2	9,1	9,1	591,5	682,5	737,1	773,5	809,9	828,1	846,3	864,5	873,6	882,7	300,3	218,4	163,8	127,4	100,1	72,8

Ganho devido a Iluminação:

Número de Lâmpadas		34
Dissipação por lâmpada (W)		28

$qel = W.Fui.Fsa.CLF$

W (watts)	2006	Reatores	1054 W
Fui	1		
Fsa	1		

Ganho Sensível

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,75	0,86	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,24	0,13	0,08	0,06	0,05	0,04
ICL (w)	80,24	60,18	60,18	60,18	60,18	40,12	40,12	40,12	1504,5	1725,16	1825,46	1865,58	1885,64	1905,7	1905,7	1925,76	1925,76	1945,82	481,44	260,78	160,48	120,36	100,3	80,24

Ganho devido a Equipamentos:

Quantidade de Funcionários: 07 (sete) pessoas

Equipamento	Quantidade	Potência Instalada Unitária (W)	Potência Instalada Total (W)
Computadores	06 (oito)	275	2200
Impressoras	1 (uma)	292,00	292
		TOTAL	2492 W

Iluminação	Quantidade	Potência Instalada unitária (W)	Potência Instalada Total (W)
Lâmpadas	34 (trinta e quatro)	28	952
Reatores	17 (dezesseis)	62	1054
		TOTAL	2006 W

Sala 2492 W

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,65	0,75	0,81	0,85	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,33	0,24	0,18	0,14	0,11	0,08
ICL (w)	149,52	124,6	99,68	74,76	49,84	49,84	24,92	24,92	1619,8	1869	2018,52	2118,2	2217,88	2267,72	2317,56	2367,4	2392,32	2417,24	822,36	598,08	448,56	348,88	274,12	199,36

Infiltrações:

$ICT_{sens} = 1,20 \times Q \times (h_0 - h_i)$

SALA I

Q	0,0333333 m³/s	120 m³/h	0,3136 W
h0	57,72 kJ/kg		
hi	49,88 kJ/kg		

ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA VIA CLTD

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Parede SE	255,84	191,88	127,92	63,96	0,00	0,00	255,84	575,64	895,44	1087,32	1151,28	1087,32	1087,32	1023,36	1023,36	1023,36	1023,36	1023,36	895,44	767,52	639,60	511,68	447,72	319,80
Parede NO	382,18	272,80	163,42	108,86	54,30	261,50	453,90	616,96	812,38	978,20	1184,05	1932,59	3009,75	4029,95	4724,82	5019,62	4793,79	3915,95	2452,37	1764,65	1276,99	969,68	699,64	513,50
Parede NE	144,31	103,43	62,54	28,07	21,66	0,00	120,21	356,65	580,29	819,17	963,48	1026,02	1069,34	968,36	908,26	832,90	757,54	710,25	622,08	499,43	417,67	335,90	260,55	219,66
Parede SO	206,64	118,08	88,56	59,04	29,52	29,52	0,00	29,52	59,04	88,56	147,60	206,64	265,68	324,72	413,28	531,36	649,44	797,04	826,56	708,48	560,88	442,80	354,24	265,68
Teto	38,44	0,00	-38,44	-76,88	-115,32	-115,32	-76,88	76,88	345,95	691,89	1037,84	1306,91	1575,97	1768,17	1845,04	1806,60	1691,29	1499,10	1191,59	845,64	538,14	307,51	192,19	115,32
Piso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Envoltória (W)	1027,41	686,19	404,00	183,05	9,84	175,70	753,07	1655,65	2693,09	3665,15	4484,24	5559,48	7008,07	8114,56	8914,75	9214,04	8915,47	7945,70	5988,04	4585,73	3433,27	2567,58	1954,34	1433,96

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Pessoas (W)	54,60	45,50	36,40	27,30	18,20	18,20	9,10	9,10	591,50	682,50	737,10	773,50	809,90	828,10	846,30	864,50	873,60	882,70	300,30	218,40	163,80	127,40	100,10	72,80

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Iluminação (W)	80,24	60,18	60,18	60,18	60,18	40,12	40,12	40,12	1504,50	1725,16	1825,46	1865,58	1885,64	1905,70	1905,70	1925,76	1925,76	1945,82	481,44	260,78	160,48	120,36	100,30	80,24

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Equipamentos (W)	149,52	124,60	99,68	74,76	49,84	49,84	24,92	24,92	1619,80	1869,00	2018,52	2118,20	2217,88	2267,72	2317,56	2367,40	2392,32	2417,24	822,36	598,08	448,56	348,88	274,12	199,36

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Infiltrações (W)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31

CARGA TÉRMICA CRÍTICA (W)	1315,77	916,47	600,26	345,29	118,38	283,86	827,21	1729,79	6488,89	7941,81	9665,32	10316,76	11921,49	13116,08	13984,31	14371,70	14107,10	13191,46	7592,14	5662,99	4206,11	3164,22	2428,86	1786,36

CARGA TÉRMICA CRÍTICA PARA PROJETO DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR (W): 14371,70

Carga Sensível	13506,89
Carga Latente	864,81
FCS	0,94

A.2 CLTD – CUIABÁ

Cálculo do CLTD conforme dados da ASHRAE

Parede Sudeste (SE): Utiliza-se a orientação NE devido a inversão dos pólos.

Tijolo 6 furos: 2 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Ueqiv 2,46 w/m ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 26 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	4	3	2	1	0	0	4	9	14	17	18	17	17	16	16	16	16	16	14	12	10	8	7	5
CLTD corr *	15,1	14,1	13,1	12,1	11,1	11,1	15,1	20,1	25,1	28,1	29,1	28,1	28,1	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1	25,1	23,1	21,1	19,1	16,1	16,1
ICL (w)	965,80	901,84	837,88	773,92	709,96	709,96	965,80	1285,60	1605,40	1797,28	1861,24	1797,28	1797,28	1733,32	1733,32	1733,32	1733,32	1733,32	1605,40	1477,48	1349,56	1221,64	1157,68	1029,76

Parede Noroeste (NO): Utiliza-se a parede SO devido a inversão dos pólos

Tijolo 6 furos: 1 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Ueqiv 3,41 w/m ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 16 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	7	5	3	2	1	1	1	1	2	3	5	8	12	17	22	27	31	32	30	25	20	16	12	9
CLTD corr *	18,1	16,1	14,1	13,1	12,1	12,1	12,1	12,1	13,1	14,1	16,1	19,1	23,1	28,1	33,1	38,1	42,1	43,1	41,1	36,1	31,1	27,1	23,1	20,1
ICL (w)	987,54	878,42	769,30	714,74	660,18	660,18	660,18	660,18	714,74	769,30	878,42	1042,10	1260,34	1533,14	1896,94	2078,74	2296,98	2351,54	2242,42	1969,62	1696,82	1478,58	1260,34	1096,66

Vidros e Sombreamento

q=A.(SC).(SCL)+U.A.(CLTD)

CLTD para placas de vidro 4mm: conforme equivalência obtida através do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SCL (W/m²)	0	0	0	0	0	28	54	76	95	110	123	202	318	419	476	479	419	293	110	54	25	13	6	3
SC	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
Área (m²)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
CLTD *	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	2	4	5	7	7	8	8	7	7	6	4	3	2	2	1
U *	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
ICL (w)	0,26	0,00	-0,26	-0,26	-0,26	206,94	399,34	562,40	703,26	814,52	911,25	1496,11	2355,03	3102,43	3524,50	3546,70	3102,43	2170,03	815,57	400,65	185,79	96,72	44,92	22,46

Carga Total da Parede NO (Parede 3 + Janela com Sombreamento)

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	987,80	878,42	769,03	714,47	659,91	867,11	1059,51	1222,58	1418,00	1583,82	1789,66	2538,21	3615,37	4635,57	5330,43	5625,43	5399,41	4521,57	3057,99	2370,26	1882,60	1575,30	1305,26	1119,12

Parede Nordeste (NE): Utiliza-se a parede SE devido a inversão dos pólos

Tijolo 6 furos: 1 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Ueqiv 3,41 w/m ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 10,11 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	4	3	2	1	1	0	2	7	12	18	22	24	26	24	23	21	19	18	16	13	11	9	7	6
CLTD corr *	15,1	14,1	13,1	12,1	12,1	11,1	13,1	18,1	23,1	29,1	33,1	35,1	37,1	35,1	34,1	32,1	30,1	29,1	27,1	24,1	22,1	20,1	18,1	17,1
ICL (w)	520,57	486,10	451,62	417,15	417,15	382,67	451,62	624,00	796,37	1003,23	1141,13	1210,08	1279,03	1210,08	1175,60	1106,65	1037,70	1003,23	934,28	830,85	761,90	692,95	624,00	589,52

Porta

A 1,89 m²
Ueqiv 3,39 w/m ºC

CLTD para porta: conforme equivalência obtida através do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	1	0	-1	-1	-2	0	8	18	26	31	32	31	27	22	18	17	16	14	11	8	6	4	3	2
CLTD corr *	12,1	11,1	10,1	10,1	9,1	11,1	19,1	29,1	37,1	42,1	43,1	42,1	38,1	33,1	29,1	28,1	27,1	25,1	22,1	19,1	17,1	15,1	14,1	13,1
ICL (w)	77,53	71,12	64,71	64,71	58,30	71,12	122,38	186,45	237,70	269,74	276,15	269,74	244,11	212,08	186,45	180,04	173,63	160,82	141,60	122,38	109,56	96,75	90,34	83,93

Carga Total da Parede NE (Parede 3 + Porta)

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	598,10	557,22	516,34	481,86	475,45	453,79	574,00	810,45	1034,08	1272,96	1417,27	1479,81	1523,14	1422,15	1362,05	1286,69	1211,33	1164,04	1075,87	953,23	871,46	789,70	714,34	673,46

Parede Sudoeste (SO): Utiliza-se a parede NO devido a inversão dos pólos

Tijolo 6 furos: 2 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Ueqiv 2,46 w/m ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 12 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	7	4	3	2	1	1	0	1	2	3	5	7	9	11	14	18	22	27	28	24	19	15	12	9
CLTD corr *	18,1	15,1	14,1	13,1	12,1	12,1	11,1	12,1	13,1	14,1	16,1	18,1	20,1	22,1	25,1	29,1	33,1	38,1	39,1	35,1	30,1	26,1	23,1	20,1
ICL (w)	534,31	445,75	416,23	386,71	357,19	357,19	327,67	357,19	386,71	416,23	475,27	534,31	593,35	652,35	746,55	859,83	977,11	1124,71	1154,23	1036,15	886,55	779,47	681,91	593,35

Teto:

Telha Ondulada de Fibrocimento
Placa de Isopor
Forro de PVC

Ueqiv 0,77 w/m² K
A 49,92 m²

CLTD Telhado 2: conforme equivalência obtida através da tabela 31 do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	1	0	-1	-2	-3	-3	-2	2	9	18	27	34	41	46	48	47	44	39	31	22	14	8	5	3
CLTD corr *	12,1	11,1	10,1	9,1	8,1	8,1	9,1	13,1	20,1	29,1	38,1	45,1	52,1	57,1	59,1	58,1	55,1	50,1	42,1	33,1	25,1	19,1	16,1	14,1
ICL (w)	466,10	426,67	388,23	349,79	311,35	311,35	349,79	503,54	772,61	1118,56	1464,50	1733,57	2002,64	2194,83	2271,71	2233,27	2117,96	1925,76	1618,26	1272,31	964,80	734,17	618,86	541,98

Piso:

Piso Composto (Concreto 150mm, chapa de compensado 2x25mm e carpet 3mm)

Ueqiv 0,04 w/m ºC OBS: De acordo com o HB ASRAE 1997 o ganho térmico através do piso é considerado nulo
A 49,92 m²

q=U.A.(to - trc)

to temperatura no ambiente adjacente
trc temperatura de projeto do espaço condicionado

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Ganho devido ao número de Pessoas:

$q = np.qs.CLF$
$q = np.ql.CLF$

np	7
qs M (W)	75
ql M (W)	55

Ganho Sensível

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,65	0,75	0,81	0,85	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,33	0,24	0,18	0,14	0,11	0,08
ICL (w)	31,5	26,25	21	15,75	10,5	10,5	5,25	5,25	341,25	393,75	425,25	446,25	467,25	477,75	488,25	498,75	504	509,25	173,25	126	94,5	73,5	57,75	42

Ganho Latente

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,65	0,75	0,81	0,85	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,33	0,24	0,18	0,14	0,11	0,08
ICL (w)	23,1	19,25	15,4	11,55	7,7	7,7	3,85	3,85	250,25	288,75	311,85	327,25	342,65	350,35	358,05	365,75	369,6	373,45	127,05	92,4	69,3	53,9	42,35	30,8

Ganho Total (Sensível + Latente)

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	54,6	45,5	36,4	27,3	18,2	18,2	9,1	9,1	591,5	682,5	737,1	773,5	809,9	828,1	846,3	864,5	873,6	882,7	300,3	218,4	163,8	127,4	100,1	72,8

Ganho devido a Iluminação:

Número de Lâmpadas	34
Dissipação por lâmpada (W)	28

$q_{ei} = W.F_{ui}.F_{sa}.CLF$

W (watts)	2006	Reatores	1054 W
Fui	1		
Fsa	1		

Ganho Sensível

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,75	0,86	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,24	0,13	0,08	0,06	0,05	0,04
ICL (w)	80,24	60,18	60,18	60,18	60,18	40,12	40,12	40,12	1504,5	1725,16	1825,46	1865,58	1885,64	1905,7	1905,7	1925,76	1925,76	1945,82	481,44	260,78	160,48	120,36	100,3	80,24

Ganho devido a Equipamentos:

Quantidade de Funcionários: 07 (sete) pessoas

Equipamento	Quantidade	Potência Instalada Unitária (W)	Potência Instalada Total (W)
Computadores	06 (seis)	295	2500
Impressoras	1 (uma)	260,00	260
		TOTAL	2492 W

Iluminação	Quantidade	Potência Instalada unitária (W)	Potência Instalada Total (W)
Lâmpadas	34 (trinta e quatro)	28	952
Reatores	17 (dezessete)	62	1054
		TOTAL	2006 W

Sala 2492 W

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,65	0,75	0,81	0,85	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,33	0,24	0,18	0,14	0,11	0,08
ICL (w)	149,52	124,6	99,68	74,76	49,84	49,84	24,92	24,92	1619,8	1869	2018,52	2118,2	2217,88	2267,72	2317,56	2367,4	2392,32	2417,24	822,36	598,08	448,56	348,88	274,12	199,36

Infiltrações:

$$ICT_{ven} = 1{,}20 \times Q \times (h_0 - h_i)$$

SALA I

Q	0,0333333 m³/s	120 m³/h	0,3136 W
h0	57,72 kJ/kg		
hi	49,88 kJ/kg		

ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA VIA CLTD

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Parede SE	965,80	901,84	837,88	773,92	709,96	709,96	965,80	1285,60	1605,40	1797,28	1861,24	1797,28	1797,28	1733,32	1733,32	1733,32	1733,32	1733,32	1605,40	1477,48	1349,56	1221,64	1157,68	1029,76
Parede NO	987,80	878,42	769,03	714,47	659,91	867,11	1059,51	1222,58	1418,00	1583,82	1789,66	2538,21	3615,37	4635,57	5330,43	5625,43	5399,41	4521,57	3057,99	2370,26	1882,60	1575,30	1306,26	1119,12
Parede NE	598,10	557,22	516,34	481,86	475,45	453,79	574,00	810,45	1034,08	1272,96	1417,27	1479,81	1523,14	1422,15	1362,05	1286,69	1211,33	1164,94	1075,87	953,23	871,46	789,70	714,34	673,46
Parede SO	534,31	445,75	416,23	386,71	357,19	357,19	327,67	357,19	386,71	416,23	475,27	534,31	593,35	652,39	740,95	859,03	977,11	1124,71	1154,23	1036,15	888,55	770,47	681,91	593,35
Teto	465,10	426,67	388,23	349,79	311,35	311,35	349,79	503,54	772,61	1118,56	1464,50	1733,57	2002,64	2194,83	2271,75	2233,27	2117,96	1925,76	1618,26	1272,31	964,80	734,17	618,86	541,98
Piso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Envoltória (W)	3551,11	3209,89	2927,71	2706,75	2513,87	2699,41	3276,77	4179,35	5216,80	6188,85	7007,95	8083,18	9531,78	10638,26	11438,46	11737,74	11439,13	10469,41	8511,74	7109,43	5956,97	5091,28	4478,05	3957,66

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Pessoas (W)	54,60	45,50	36,40	27,30	18,20	18,20	9,10	9,10	591,50	682,50	737,10	773,50	809,90	828,10	846,30	864,50	873,60	882,70	300,30	218,40	163,80	127,40	100,10	72,80

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Iluminação (W)	80,24	60,18	60,18	60,18	60,18	40,12	40,12	40,12	1504,50	1725,16	1825,46	1865,58	1885,64	1905,70	1905,70	1925,76	1925,76	1945,82	481,44	260,78	160,48	120,36	100,30	80,24

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Equipamentos (W)	149,52	124,60	99,68	74,76	49,84	49,84	24,92	24,92	1619,80	1869,00	2018,52	2118,20	2217,88	2267,72	2317,56	2367,40	2392,32	2417,24	822,36	598,08	448,56	348,88	274,12	199,36

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Infiltrações (W)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31

CARGA TÉRMICA CRÍTICA (W)	3835,47	3440,17	3123,57	2868,99	2642,09	2807,57	3350,91	4253,49	6932,60	10465,51	11589,03	12840,46	14445,20	15639,78	16508,02	16895,40	16630,81	15715,17	10115,84	8186,69	6729,81	5687,92	4952,57	4310,06

CARGA TÉRMICA CRÍTICA PARA PROJETO DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR (W): 16895,40

Carga Sensível	15830,59
Carga Latente	664,81
FCS	0,99

A.3 CLTD – SÃO PAULO

Cálculo do CLTD conforme dados da ASHRAE

Parede Sudeste (SE): Utiliza-se a orientação NE devido a inversão dos pólos.

Tijolo 6 furos: 2 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Ueqiv 2,46 w/m ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 26 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	4	3	2	1	0	0	4	9	14	17	18	17	17	16	16	16	16	16	14	12	10	8	7	5
CLTD corr *	11,4	10,4	9,4	8,4	7,4	7,4	11,4	16,4	21,4	24,4	25,4	24,4	24,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	21,4	19,4	17,4	15,4	14,4	12,4
ICL (w)	729,14	665,18	601,22	537,26	473,30	473,30	729,14	1048,54	1368,74	1560,62	1624,58	1560,62	1560,62	1496,66	1496,66	1496,66	1496,66	1496,66	1368,74	1240,82	1112,90	984,98	921,02	793,10

Parede Noroeste (NO): Utiliza-se a parede SO devido a inversão dos pólos

Tijolo 6 furos: 1 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Ueqiv 3,41 w/m ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 16 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	7	5	3	2	1	1	1	1	2	3	5	8	12	17	22	27	31	32	30	25	20	16	12	9
CLTD corr *	14,4	12,4	10,4	9,4	8,4	8,4	8,4	8,4	9,4	10,4	12,4	15,4	19,4	24,4	29,4	34,4	38,4	39,4	37,4	32,4	27,4	23,4	19,4	15,4
ICL (w)	786,66	676,54	667,42	512,86	458,30	458,30	458,30	458,30	512,86	667,42	676,54	840,22	1058,46	1331,26	1604,06	1876,86	2095,10	2149,66	2040,54	1767,74	1494,94	1276,70	1058,46	894,78

Vidros e Sombreamento

q=A.(SC).(SCL)+U.A.(CLTD)

CLTD para placas de vidro 4mm: conforme equivalência obtida através do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SCL (W/m²)	0	0	0	0	0	28	54	76	95	110	123	202	318	419	476	479	419	293	110	54	25	13	6	3
SC	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
Área (m²)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
CLTD *	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	2	4	5	7	7	8	8	7	7	6	4	3	2	2	1
U *	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
ICL (w)	0,26	0,00	-0,26	-0,26	-0,26	206,94	399,34	562,40	703,26	814,52	911,25	1496,11	2355,03	3102,43	3524,50	3546,70	3102,43	2170,03	815,57	400,65	185,79	96,72	44,92	22,46

Carga Total da Parede NO (Parede 3 + Janela com Sombreamento)

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	786,93	676,54	567,16	512,60	458,04	665,24	857,64	1020,70	1216,13	1381,95	1587,79	2336,33	3413,50	4433,70	5128,56	5423,56	5197,54	4319,70	2856,12	2168,39	1680,73	1373,43	1103,39	917,25

Parede Nordeste (NE): Utiliza-se a parede SE devido a inversão dos pólos

Tijolo 6 furos: 1 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Ueqiv 3,41 w/m ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 10,11 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	4	3	2	1	1	0	2	7	12	18	22	24	26	24	23	21	19	18	16	13	11	9	7	6
CLTD corr *	11,4	10,4	9,4	8,4	8,4	7,4	9,4	14,4	19,4	25,4	29,4	31,4	33,4	31,4	30,4	28,4	26,4	25,4	23,4	20,4	18,4	16,4	14,4	13,4
ICL (w)	393,02	358,54	324,07	289,59	289,59	255,12	324,07	496,44	668,82	875,67	1013,67	1082,52	1151,47	1082,52	1048,04	979,09	910,14	875,67	806,72	703,29	634,34	565,39	496,44	461,97

Porta

A 1,89 m²
Ueqiv 3,39 w/m ºC

CLTD para porta: conforme equivalência obtida através do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	1	0	-1	-1	-2	0	8	18	26	31	32	31	27	22	18	17	16	14	11	8	6	4	3	2
CLTD corr *	8,4	7,4	6,4	6,4	5,4	7,4	15,4	25,4	33,4	38,4	39,4	38,4	34,4	29,4	25,4	24,4	23,4	21,4	18,4	15,4	13,4	11,4	10,4	9,4
ICL (w)	53,82	47,41	41,01	41,01	34,60	47,41	98,67	162,74	214,00	246,03	252,44	246,03	220,40	188,37	162,74	156,33	149,93	137,11	117,89	98,67	85,86	73,04	66,63	60,23

Carga Total da Parede NE (Parede 3 + Porta)

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	446,84	405,95	365,07	330,60	324,19	302,53	422,74	659,18	882,81	1121,70	1266,01	1328,55	1371,87	1270,89	1210,78	1135,43	1060,07	1012,78	924,61	801,96	720,20	638,43	563,08	522,19

Parede Sudoeste (SO): Utiliza-se a parede NO devido a inversão dos pólos

Tijolo 6 furos: 2 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Ueqiv 2,46 w/m ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 12 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	7	4	3	2	1	1	0	1	2	3	5	7	9	11	14	18	22	27	28	24	19	15	12	9
CLTD corr *	14,4	11,4	10,4	9,4	8,4	8,4	7,4	8,4	9,4	10,4	12,4	14,4	16,4	18,4	21,4	25,4	29,4	34,4	35,4	31,4	26,4	22,4	19,4	16,4
ICL (w)	425,89	336,53	367,61	277,45	247,57	247,57	216,45	247,57	277,49	367,61	366,65	425,89	484,13	543,17	631,73	745,81	867,85	1015,45	1045,61	886,53	779,33	661,25	572,69	484,13

Teto:

Telha Ondulada de Fibrocimento
Placa de Isopor
Forro de PVC

Ueqiv 0,77 w/m² K
A 49,92 m²

CLTD Telhado 2: conforme equivalência obtida através da tabela 31 do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	1	0	-1	-2	-3	-3	-2	2	9	18	27	34	41	46	49	47	44	39	31	22	14	8	5	3
CLTD corr *	8,4	7,4	6,4	5,4	4,4	4,4	5,4	9,4	16,4	25,4	34,4	41,4	48,4	53,4	56,4	54,4	51,4	46,4	38,4	29,4	21,4	15,4	12,4	10,4
ICL (w)	322,88	284,44	246,01	207,57	169,13	169,13	207,57	361,32	630,39	976,34	1322,28	1591,35	1860,42	2052,61	2129,49	2091,05	1975,73	1783,54	1476,03	1130,09	822,58	591,95	476,64	399,76

Piso:

Piso Composto (Concreto 150mm, chapa de compensado 2x25mm e carpet 3mm)

Ueqiv 0,04 w/m ºC OBS: De acordo com o HB ASRAE 1997 o ganho térmico através do piso é considerado nulo
A 49,92 m²

q=U.A.(to - trc)

to temperatura no ambiente adjacente
trc temperatura de projeto do espaço condicionado

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Ganho devido ao número de Pessoas:

$q = np.qs.CLF$
$q = np.ql.CLF$

np	7
qs M (W)	75
ql M (W)	55

Ganho Sensível

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,65	0,75	0,81	0,85	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,33	0,24	0,18	0,14	0,11	0,08
ICL (w)	31,5	26,25	21	15,75	10,5	10,5	5,25	5,25	341,25	393,75	425,25	446,25	467,25	477,75	488,25	498,75	504	509,25	173,25	126	94,5	73,5	57,75	42

Ganho Latente

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,65	0,75	0,81	0,85	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,33	0,24	0,18	0,14	0,11	0,08
ICL (w)	23,1	19,25	15,4	11,55	7,7	7,7	3,85	3,85	250,25	288,75	311,85	327,25	342,65	350,35	358,05	365,75	369,6	373,45	127,05	92,4	69,3	53,9	42,35	30,8

Ganho Total (Sensível + Latente)

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	54,6	45,5	36,4	27,3	18,2	18,2	9,1	9,1	591,5	682,5	737,1	773,5	809,9	828,1	846,3	864,5	873,6	882,7	300,3	218,4	163,8	127,4	100,1	72,8

Ganho devido a Iluminação:

Número de Lâmpadas	34
Dissipação por lâmpada (W)	28

$q_{ei} = W.F_{ul}.F_{sa}.CLF$

W (watts)	2006	Reatores	1054 W
Ful	1		
Fsa	1		

Ganho Sensível

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,75	0,86	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,24	0,13	0,08	0,06	0,05	0,04
ICL (w)	80,24	60,18	60,18	60,18	60,18	40,12	40,12	40,12	1504,5	1725,16	1825,46	1865,58	1885,64	1905,7	1905,7	1925,76	1925,76	1945,82	481,44	260,78	160,48	120,36	100,3	80,24

Ganho devido a Equipamentos:

Quantidade de Funcionários: 07 (sete) pessoas

Equipamento	Quantidade	Potência Instalada Unitária (W)	Potência Instalada Total (W)
Computadores	06 (seis)	375	2500
Impressoras	1 (uma)	260,00	260
		TOTAL	2492 W

Iluminação	Quantidade	Potência Instalada unitária (W)	Potência Instalada Total (W)
Lâmpadas	34 (trinta e quatro)	28	952
Reatores	17 (dezessete)	62	1054
		TOTAL	2006 W

Sala 2492 W

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,65	0,75	0,81	0,85	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,33	0,24	0,18	0,14	0,11	0,08
ICL (w)	149,52	124,6	99,68	74,76	49,84	49,84	24,92	24,92	1619,8	1869	2018,52	2118,2	2217,88	2267,72	2317,56	2367,4	2392,32	2417,24	822,36	598,08	448,56	348,88	274,12	199,36

Infiltrações:

$$ICT_{ven} = 1{,}20 \times Q \times (h_0 - h_i)$$

SALA I

Q	0,0333333 m³/s	120 m³/h	0,3136 W
h0	57,72 kJ/kg		
hi	49,88 kJ/kg		

ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA VIA CLTD

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Parede SE	729,14	665,18	601,22	537,26	473,30	473,30	729,14	1048,94	1368,74	1560,62	1624,58	1560,62	1560,62	1496,66	1496,66	1496,66	1496,66	1496,66	1368,74	1240,82	1112,90	984,98	921,02	793,10
Parede NO	785,93	676,54	567,16	512,60	458,04	665,24	857,64	1020,70	1216,13	1381,95	1587,79	2336,33	3413,50	4433,70	5128,56	5423,56	5197,54	4319,78	2856,12	2168,39	1680,73	1373,43	1163,39	917,25
Parede NE	446,84	405,95	365,07	330,60	324,19	302,53	422,74	659,18	882,81	1121,76	1266,91	1328,55	1371,87	1270,89	1210,78	1135,43	1066,07	1012,78	924,61	801,96	720,26	638,43	563,98	522,19
Parede SO	425,09	336,53	307,01	277,49	247,97	247,97	218,45	247,97	277,49	307,01	366,05	425,09	484,13	543,17	631,73	749,81	867,89	1015,49	1045,01	926,93	779,33	661,25	572,69	484,13
Teto	322,88	284,44	246,01	207,57	169,13	169,13	207,57	361,32	630,39	976,34	1322,28	1591,35	1860,42	2052,61	2129,49	2091,05	1975,73	1783,54	1476,03	1130,09	822,58	591,95	476,64	399,76
Piso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Envoltória (W)	2709,88	2368,65	2086,47	1865,52	1672,63	1858,17	2435,54	3338,12	4375,56	5347,62	6166,71	7241,95	8690,54	9797,03	10597,22	10896,51	10597,89	9628,17	7670,51	6268,19	5115,74	4250,84	3636,81	3116,43

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Pessoas (W)	54,60	45,50	36,40	27,30	18,20	18,20	9,10	9,10	591,50	682,50	737,10	773,50	809,90	828,10	846,30	864,50	873,60	882,70	300,30	218,40	163,80	127,40	100,10	72,80

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Iluminação (W)	80,24	60,18	60,18	60,18	60,18	40,12	40,12	40,12	1504,50	1725,16	1825,46	1865,58	1885,64	1905,70	1905,70	1925,76	1925,76	1945,82	481,44	260,78	160,48	120,36	100,30	80,24

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Equipamentos (W)	149,52	124,60	99,68	74,76	49,84	49,84	24,92	24,92	1619,80	1869,00	2018,52	2118,20	2217,88	2267,72	2317,56	2367,40	2392,32	2417,24	822,36	598,08	448,56	348,88	274,12	199,36

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Infiltrações (W)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31

CARGA TÉRMICA CRÍTICA (W)	2994,24	2598,93	2282,73	2027,76	1800,85	1966,33	2509,68	3412,26	8091,36	9624,28	10747,79	11999,23	13603,96	14798,55	15666,78	16054,17	15789,57	14873,93	9274,61	7345,45	5888,58	4846,68	4111,33	3468,83

CARGA TÉRMICA CRÍTICA PARA PROJETO DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR (W): 16054,17

Carga Sensível	15189,36
Carga Latente	864,81
FCS	0,95

A.4 CLTD – CURITIBA

Cálculo do CLTD conforme dados da ASHRAE

Parede Sudeste (SE): Utiliza-se a orientação NE devido a inversão dos pólos.

Tijolo 6 furos: 2 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Uequiv 2,45 w/m ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 26 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	4	3	2	1	0	0	4	9	14	17	18	17	17	16	16	16	16	16	14	12	10	8	7	5
* CLTD corr	10	9	8	7	6	6	10	15	20	23	24	23	23	22	22	22	22	22	20	18	16	14	13	11
ICL (w)	639,60	575,64	511,68	447,72	383,76	383,76	639,60	959,40	1279,20	1471,08	1535,04	1471,08	1471,08	1407,12	1407,12	1407,12	1407,12	1407,12	1279,20	1151,28	1023,36	895,44	831,48	703,56

Parede Noroeste (NO): Utiliza-se a parede SO devido a inversão dos pólos

Tijolo 6 furos: 1 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Uequiv 3,41 w/m ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 16 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	7	5	3	2	1	1	1	1	2	3	5	8	12	17	22	27	31	32	30	25	20	16	12	9
* CLTD corr	13	11	9	8	7	7	7	7	8	9	11	14	18	23	28	33	37	38	36	31	26	22	18	15
ICL (w)	709,28	600,16	491,04	436,48	381,92	381,92	381,92	381,92	436,48	491,04	600,16	763,84	982,08	1254,88	1527,68	1800,48	2019,72	2073,20	1964,16	1691,36	1418,56	1200,32	982,08	818,40

Vidros e Sombreamento

q=A.(SC).(SCL)+U.A.(CLTD)

CLTD para placas de vidro 4mm: conforme equivalência obtida através do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SCL (W/m²)	0	0	0	0	0	28	54	76	95	110	123	202	318	419	476	479	419	293	110	54	25	13	6	3
SC	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
Área (m²)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
* CLTD	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	2	4	5	7	7	8	8	7	7	6	4	3	2	2	1
U	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
ICL (w)	0,26	0,00	-0,26	-0,26	-0,26	206,94	399,34	562,40	703,26	814,52	911,25	1496,11	2355,03	3102,43	3524,50	3546,70	3102,43	2170,03	815,57	400,65	185,79	96,72	44,92	22,46

Carga Total da Parede NO (Parede 3 + Janela com Sombreamento)

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	709,54	600,16	490,78	436,22	381,66	588,86	781,26	944,32	1139,74	1305,56	1511,41	2259,95	3337,11	4357,31	5052,18	5347,18	5121,15	4243,31	2779,73	2092,01	1604,35	1297,04	1027,00	840,86

Parede Nordeste (NE): Utiliza-se a parede SE devido a inversão dos pólos

Tijolo 6 furos: 1 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Uequiv 3,41 w/m ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 10,11 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	4	3	2	1	1	0	2	7	12	18	22	24	26	24	23	21	19	18	16	13	11	9	7	6
* CLTD corr	10	9	8	7	7	6	8	13	18	23	26	30	32	30	29	27	25	24	22	19	17	15	13	12
ICL (w)	344,75	310,28	275,80	241,33	241,33	206,85	275,80	448,18	620,55	827,40	965,30	1034,25	1103,20	1034,25	999,78	930,83	861,88	827,40	758,45	655,03	586,08	517,13	448,18	413,70

Porta

A 1,89 m²
Uequiv 3,39 w/m ºC

CLTD para porta: conforme equivalência obtida através do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	1	0	-1	-1	-2	0	8	18	26	31	32	31	27	22	18	17	16	14	11	8	6	4	3	2
* CLTD corr	7	6	5	5	4	6	14	24	32	37	38	37	33	28	24	23	22	20	17	14	12	10	9	8
ICL (w)	44,85	38,44	32,04	32,04	25,63	38,44	89,70	153,77	205,03	237,06	243,47	237,06	211,43	179,40	153,77	147,36	140,96	128,14	108,92	89,70	76,89	64,07	57,66	51,26

Carga Total da Parede NE (Parede 3 + Porta)

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	389,60	348,72	307,84	273,36	266,95	245,29	365,50	601,95	825,58	1064,47	1208,77	1271,32	1314,64	1213,65	1153,55	1078,19	1002,83	955,54	867,37	744,73	662,96	581,20	505,84	464,96

Parede Sudoeste (SO): Utiliza-se a parede NO devido a inversão dos pólos

Tijolo 6 furos: 2 camadas
Concreto usinado: 1 camada

Uequiv 2,46 w/m ºC OBS: Calculado cfe HB ASHRAE 1997
A 12 m²

CLTD Parede 3 da tabela 32: conforme equivalência obtida através da tabela 33B do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	7	4	3	2	1	1	0	1	2	3	5	7	9	11	14	18	22	27	28	24	19	15	12	9
* CLTD corr	13	10	9	8	7	7	6	7	8	9	11	13	15	17	20	24	28	33	34	30	25	21	18	15
ICL (w)	383,76	295,20	265,68	236,16	206,64	206,64	177,12	206,64	236,16	265,68	324,72	383,76	442,80	501,84	590,40	708,48	826,56	974,16	1003,68	885,60	738,00	619,92	531,36	442,80

Teto:

Telha Ondulada de Fibrocimento
Placa de Isopor
Forro de PVC

Uequiv 0,77 w/m² K
A 49,92 m²

CLTD Telhado 2: conforme equivalência obtida através da tabela 31 do HB ASHRAE 1997

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	1	0	-1	-2	-3	-3	-2	2	9	18	27	34	41	46	49	47	44	39	31	22	14	8	5	3
* CLTD corr	7	6	5	4	3	3	4	8	15	24	33	40	47	52	54	53	50	45	37	28	20	14	11	9
ICL (w)	269,07	230,63	192,19	153,75	115,32	115,32	153,75	307,51	576,58	922,52	1268,47	1537,54	1806,60	1998,80	2075,67	2037,24	1921,92	1729,73	1422,22	1076,28	768,77	538,14	422,82	345,95

Piso:

Piso Composto (Concreto 150mm, chapa de compensado 2x25mm e carpet 3mm)

Uequiv 0,04 w/m ºC OBS: De acordo com o HB ASRAE 1997 o ganho térmico através do piso é considerado nulo
A 49,92 m²

q=U.A.(to - trc)

to temperatura no ambiente adjacente
trc temperatura de projeto do espaço condicionado

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Ganho devido ao número de Pessoas:

$q = np.qs.CLF$
$q = np.ql.CLF$

np	7
qs M (W)	75
ql M (W)	55

Ganho Sensível

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,65	0,75	0,81	0,85	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,33	0,24	0,18	0,14	0,11	0,08
ICL (w)	31,5	26,25	21	15,75	10,5	10,5	5,25	5,25	341,25	393,75	425,25	446,25	467,25	477,75	488,25	498,75	504	509,25	173,25	126	94,5	73,5	57,75	42

Ganho Latente

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,65	0,75	0,81	0,85	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,33	0,24	0,18	0,14	0,11	0,08
ICL (w)	23,1	19,25	15,4	11,55	7,7	7,7	3,85	3,85	250,25	288,75	311,85	327,25	342,65	350,35	358,05	365,75	369,6	373,45	127,05	92,4	69,3	53,9	42,35	30,8

Ganho Total (Sensível + Latente)

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ICL (w)	54,6	45,5	36,4	27,3	18,2	18,2	9,1	9,1	591,5	682,5	737,1	773,5	809,9	828,1	846,3	864,5	873,6	882,7	300,3	218,4	163,8	127,4	100,1	72,8

Ganho devido a Iluminação:

Número de Lâmpadas	34
Dissipação por lâmpada (W)	28

$q_{el} = W.F_{ul}.F_{sa}.CLF$

W (watts)	2006	Reatores	1054 W
Ful	1		
Fsa	1		

Ganho Sensível

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,75	0,86	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,24	0,13	0,08	0,06	0,05	0,04
ICL (w)	80,24	60,18	60,18	60,18	60,18	40,12	40,12	40,12	1504,50	1725,16	1825,46	1865,58	1885,64	1905,70	1905,70	1925,76	1925,76	1945,82	481,44	260,78	160,48	120,36	100,30	80,24

Ganho devido a Equipamentos:

Quantidade de Funcionários: 07 (sete) pessoas

Equipamento	Quantidade	Potência Instalada Unitária (W)	Potência Instalada Total (W)
Computadores	06 (seis)	375	2500
Impressoras	1 (uma)	260,00	260
		TOTAL	2492 W

Iluminação	Quantidade	Potência Instalada unitária (W)	Potência Instalada Total (W)
Lâmpadas	34 (trinta e quatro)	28	952
Reatores	17 (dezessete)	62	1054
		TOTAL	2006 W

Sala 2492 W

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,65	0,75	0,81	0,85	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,33	0,24	0,18	0,14	0,11	0,08
ICL (w)	149,52	124,6	99,68	74,76	49,84	49,84	24,92	24,92	1619,8	1869	2018,52	2118,2	2217,88	2267,72	2317,56	2367,4	2392,32	2417,24	822,36	598,08	448,56	348,88	274,12	199,36

Infiltrações:

$$ICT_{ven} = 1{,}20 \times Q \times (h_0 - h_i)$$

SALA I

Q	0,0333333 m³/s	120 m³/h	0,3136 W
h0	57,72 kJ/kg		
hi	49,88 kJ/kg		

ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA VIA CLTD

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Parede SE	639,60	575,64	511,68	447,72	383,76	383,76	639,60	959,40	1279,20	1471,08	1535,04	1471,08	1471,08	1407,12	1407,12	1407,12	1407,12	1407,12	1279,20	1151,28	1023,36	895,44	831,48	703,56
Parede NO	709,54	600,16	490,78	436,22	381,66	588,86	781,26	944,32	1139,74	1305,56	1511,41	2259,95	3337,11	4357,31	5052,18	5347,18	5121,15	4243,31	2779,73	2092,01	1604,35	1297,04	1027,00	840,86
Parede NE	389,60	348,72	307,84	273,36	266,95	245,29	365,50	601,95	825,58	1064,47	1268,77	1271,32	1314,64	1213,65	1153,55	1078,19	1002,83	955,54	867,37	744,73	662,96	581,20	505,84	464,96
Parede SO	383,76	295,20	265,68	236,16	206,64	206,64	177,12	206,64	236,16	265,68	324,72	383,76	442,80	501,84	590,40	708,48	826,56	974,16	1003,68	885,60	738,00	619,92	531,36	442,80
Teto	269,07	230,63	192,19	153,75	115,32	115,32	153,75	307,51	576,58	922,52	1268,47	1537,54	1806,60	1998,80	2075,67	2037,24	1921,92	1729,73	1422,22	1076,28	768,77	538,14	422,82	345,95
Piso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Envoltória (W)	2391,57	2050,35	1768,17	1547,21	1354,33	1539,87	2117,23	3019,81	4057,26	5029,31	5848,41	6923,64	8372,24	9478,72	10278,92	10578,20	10279,59	9309,87	7352,21	5949,89	4797,44	3931,74	3318,51	2798,13

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Pessoas (W)	54,60	45,50	36,40	27,30	18,20	18,20	9,10	9,10	591,50	682,50	737,10	773,50	809,90	828,10	846,30	864,50	873,60	882,70	300,30	218,40	163,80	127,40	100,10	72,80

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Iluminação (W)	80,24	60,18	60,18	60,18	60,18	40,12	40,12	40,12	1504,50	1725,16	1825,46	1865,58	1885,64	1905,70	1905,70	1925,76	1925,76	1945,82	481,44	260,78	160,48	120,36	100,30	80,24

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Equipamentos (W)	149,52	124,60	99,68	74,76	49,84	49,84	24,92	24,92	1619,80	1869,00	2018,52	2118,20	2217,88	2267,72	2317,56	2367,40	2392,32	2417,24	822,36	598,08	448,56	348,88	274,12	199,36

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Total Infiltrações (W)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31

CARGA TÉRMICA CRÍTICA (W)	2675,93	2280,63	1964,43	1709,45	1482,55	1648,03	2191,37	3093,95	7773,06	9305,97	10429,49	11680,92	13285,66	14480,24	15348,48	15735,86	15471,27	14555,63	8956,31	7027,15	5570,28	4528,38	3793,03	3150,53

CARGA TÉRMICA CRÍTICA PARA PROJETO DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR (W): 15735,86

Carga Sensível	14871,05
Carga Latente	864,81
FCS	0,95

Anexo B

Modelos matemáticos dos condicionadores de ar

Nesta seção são apresentados os modelos matemáticos dos condicionadores de ar por expansão direta e indireta aplicados no programa de simulação higrotérmica *Domus*.

B.1 Modelos – Condicionadores de ar de expansão direta simulados a partir da curva de desempenho presente na biblioteca do programa Domus

Condicionador de Ar do tipo Split 30.000 Btu/h						
Capacidade Total:	30.000 Btu/h		**Vazão de Ar:**		**1090 m³/h**	
Capacidade Sensível:	20.400 Btu/h		**Temperatura Evaporação:**		**9 °C**	
Eficiência Energética:	9,5 Btu/Wh		**Compressor:**		**Rotativo**	
Coeficientes	**a0**	**a1**	**a2**	**a3**	**a4**	**a5**
CT	0,896759	0,095949	-0,002769	-0,054000	0,000159	0,001440
CS	1,358199	-0,101180	0,000199	0,036150	-0,001150	0,002409
CEER	1,679679	0,130610	-0,003000	-0,100149	0,000809	0,000660
Condicionador de Ar do tipo Split 48.000 Btu/h						
Capacidade Total:	48.000 Btu/h		**Vazão de Ar:**		**1785 m³/h**	
Capacidade Sensível:	32.640 Btu/h		**Temperatura Evaporação:**		**9 °C**	
Eficiência Energética:	10,2 Btu/Wh		**Compressor:**		**Rotativo**	
Coeficientes	**a0**	**a1**	**a2**	**a3**	**a4**	**a5**
CT	0,896759	0,095949	-0,002769	-0,054000	0,000159	0,001440
CS	1,358199	-0,101180	0,000199	0,036150	-0,001150	0,002409
CEER	1,679679	0,130610	-0,003000	-0,100149	0,000809	0,000660
Condicionador de Ar do tipo Split 58.000 Btu/h						
Capacidade Total:	58.000 Btu/h		**Vazão de Ar:**		**2295 m³/h**	
Capacidade Sensível:	39.440 Btu/h		**Temperatura Evaporação:**		**9 °C**	
Eficiência Energética:	9,6 Btu/Wh		**Compressor:**		**Rotativo**	
Coeficientes	**a0**	**a1**	**a2**	**a3**	**a4**	**a5**
CT	0,896759	0,095949	-0,002769	-0,054000	0,000159	0,001440
CS	1,358199	-0,101180	0,000199	0,036150	-0,001150	0,002409
CEER	1,679679	0,130610	-0,003000	-0,100149	0,000809	0,000660

B.2 Modelos – Condicionadores de ar de expansão indireta

Os modelos matemáticos das serpentinas de resfriamento e aquecimento necessitam de parâmetros geométricos para a simulação. A tabela abaixo apresenta os parâmetros geométricos necessários para modelar as serpentinas.

Parâmetros da Serpentina	1	2	3	5	6	7	8
Cap. Nominal (TR's)	2,50	5,27	7,35	10.12	12,76	15,46	17,20
Altura (*mm*)	305	457	457	610	610	762	686
Comprimento (*mm*)	740	700	850	1310	1310	1580	1370
Largura (*mm*)			264				
Distância entre tubos (*mm*)	38.125	38.083	38.083	38.125	38.125	38.100	38.111
Distância entre fileiras (*mm*)			33.0				
Diâmetro ext. do tubo (*mm*)	15.875	15.875	15.875	15.875	15.875	15.875	15.875
Diâmetro int. do tubo (*mm*)	13.875	13.875	13.875	13.875	13.875	13.875	13.875
Espessura da aleta (*mm*)	0.1905	0.1905	0.1905	0.1905	0.1905	0.1905	0.1905
Nº de aletas por metro	314.96	314.96	314.96	314.96	314.96	314.96	314.96
Nº de fileiras	4	6	8	4	6	4	8
Nº de Tubos por fileira	8	12	12	16	16	20	18
Nº circuitos	4	6	6	8	8	10	9
Cond. da aleta (*W/m K*)	230	230	230	230	230	230	230
Cond. do tubo (*W/m K*)	380	380	380	380	380	380	380
Vazão de água (*L/s*)	0.40	0.80	1.10	1.50	1.90	2.40	2.60
Vazão de Ar (m^3/h)	2031	2879	3496	7192	7192	10836	8458

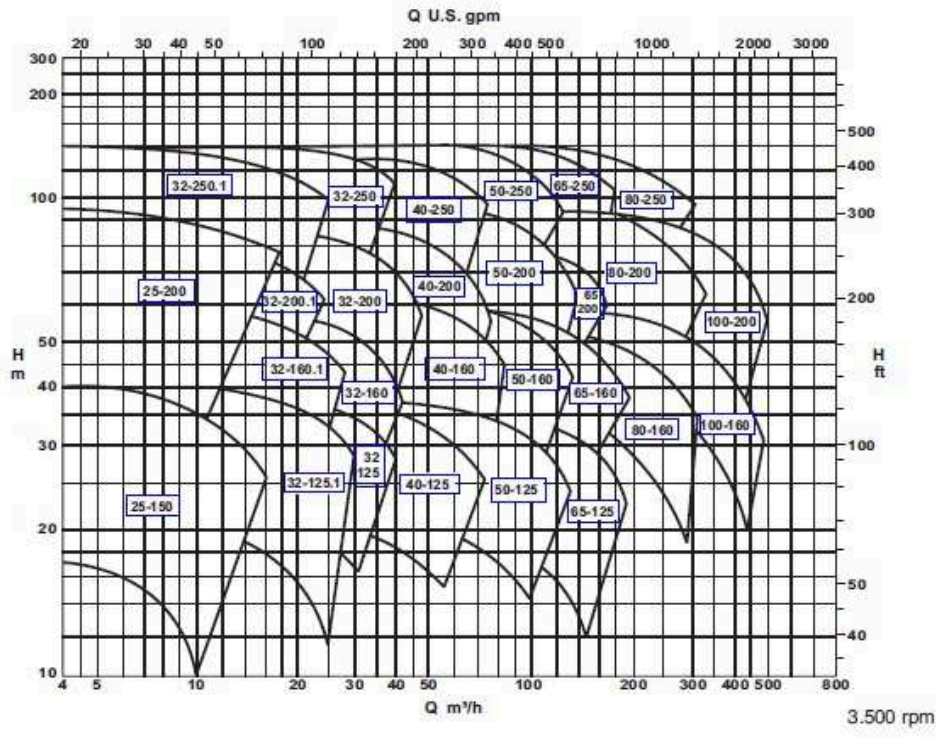
O modelo matemático do resfriador de líquidos é baseado em funções biquadráticas e polinomiais que descrevem a forma com que a capacidade de resfriamento e as eficiências variam em função das condições de operação, além de mostrar como a potência do compressor varia em condições de cargas parciais. Estas curvas podem ser calibradas através de dados de catálogos, desde que o fabricante forneça os dados necessários para a calibração, como a variação da capacidade e da eficiência (COP) em função das temperaturas da água e também a variação da eficiência em regime de carga parcial.

A tabela abaixo apresenta os coeficientes necessários para montar as equações bi-quadráticas dentro do módulo HVAC do Domus.

Equipamento	Capacidade Nominal (KW)	COP Nominal	CAPFT	EIRFT	EIRPLR
RTAA110	123,7	2,84	A=0,6259559 B=0,0113334 C=0,0001602 D=0,0018229 E=0,0001889 F=-0,0000184	A=1,7508399 B=0,0317193 C=-0,0003026 D=-0,0283224 E=0,0000891 F=-0,0002997	A=1,7069980 B=-0,6423919 C=-0,0800066
RTAA125	136,1	2,87	A=0,5039538 B=0,0294820 C=-0,0005950 D=0,0062973 E=0,0001407 F=-0,0002750	A=1,7756800 B=0,0311074 C=-0,0005589 D=-0,0293782 E=0,0000943 F=-0,0001298	A=1,3485030 B=-0,3275886 C=-0,6959909
RTAA130	154,0	2,78	A=0,5510015 B=0,0082729 C=0,0001756 D=0,0031951 E=0,0002088 F=0,0000791	A=1,7756800 B=0,0311074 C=-0,0005589 D=-0,0293782 E=0,0000943 F=-0,0001298	A=1,3485030 B=-0,3275886 C=-0,6959909
RTAA140	166,7	2,78	A=0,2162423 B=0,0446434 C=-0,0009081 D=0,0175858 E=0,0000561 F=-0,0006532	A=2,0912160 B=0,0298178 C=-0,0000888 D=-0,0435212 E=0,0002478 F=-0,0002841	A=2,0157440 B=-0,9305755 C=-0,0840191
RTAA155	178,0	2,75	A=0,2464910 B=0,0432803 C=-0,0010587 D=0,0158064 E=0,0000743 F=-0,0005461	A=2,0501290 B=0,0266979 C=0,0003846 D=-0,0415196 E=0,0002372 F=-0,0003553	A=2,1024990 B=-1,4347960 C=0,3439976
RTAA170	200,2	2,69	A=-0,1386873 B=0,0460264 C=-0,0003415 D=0,0416767 E=-0,0003136 F=-0,0009296	A=2,0699200 B=0,0233055 C=0,0001735 D=-0,0426586 E=0,0002578 F=-0,0002345	A=1,9529990 B=-0,5571958 C=-0,3920033
RTAA185	212,0	2,69	A=-0,1217963 B=0,0404454 C=-0,0004348 D=0,0416475 E=-0,0003363 F=-0,0006997	A=2,0297870 B=0,0287730 C=-0,0000532 D=-0,0426481 E=0,0002717 F=-0,0002828	A=1,3782480 B=0,8746084 C=-1,2600070
RTAA200	233,9	2,64	A=-0,3631675 B=0,0417206 C=0,0003084 D=0,0580762 E=-0,0005719 F=-0,0010572	A=2,0397820 B=0,0262165 C=-0,0005395 D=-0,0426015 E=0,0002611 F=-0,0000646	A=2,0487470 B=-0,8497879 C=-0,1800091

O sistema central de água gelada necessita de bombas centrífugas para movimentar o fluido intermediário (água) entre os sistemas primário (Chiller) e sistema secundário (Fan-coil e dutos de distribuição).

A tabela abaixo apresenta as curvas de desempenho das bombas.



Dados Construtivos \ Tamanhos	UNID.	25-150	25-200	32-125.1	32-125	32-160.1	32-160	32-200.1	32-200	40-125	40-160	40-200	50-125	50-160	50-200	65-125	32-250.1	32-250	40-250	50-250	65-160	65-200	80-160	40-315	50-315	65-250	80-200	80-250	100-160	100-200	65-315	80-315	80-400	100-250 *	100-315	100-400	125-200 *	125-250	125-315	125-400	150-200	150-250	150-315	150-400
Suporte de mancal		A 30															A 40														A 50												A 60	
Largura da passagem do rotor	mm	5,5	6	7	9	5	5	6	6	14	12	9	20	16	11	25	8	8	8	12	21	17	31	9	13	23	19	36	32	13	18	13	27	23	17	40	37	30	25	59	48	39	33
GD² Conjunto girante com água	Kg.m²	0,0214	0,0591	0,0140	0,0142	0,0224	0,0238	0,0760	0,0786	0,0144	0,0336	0,0240	0,0189	0,0264	0,0760	0,0263	0,1800	0,1820	0,1880	0,1920	0,0621	0,0985	0,0541	0,4696	0,4800	0,2232	0,1568	0,2304	0,1040	0,1800	0,5120	0,5896	1,2788	0,3172	0,6100	1,3832	0,2230	0,4100	0,7740	1,6812	0,2918	0,4456	0,6880	1,8800
Rotação máxima	rpm	3500																						1750		3500					1750														
Pressão máxima na sucção	bar	10																																										
Pressão máxima no recalque	bar	Vide Item 8																																										
Alívio Empuxo Axial		s/ (1)								sem	Por Furos de Alívio																																			
Vazão mínima/máxima		0,1 Qopt/ 1,1 Qopt																													0,15 Qopt/ 1,1 Qopt													
Sentido de rotação		Horário, visto do lado do acionamento																																										
Flanges		ANSI B 16.1 125 Lb FF															250 Lb FF				125 Lb FF		••		•	••	ANSI B 16.1 125 Lb FF																	
Mancais — Rolamento 2x		6306 C 3															6308 C 3														6310 C 3													6312 C 3
Mancais — Lubrificação		Óleo																																										
P/n máx. admissível — SAE 1045	CV/rpm	0,0176															0,0458														0,100													0,158
Peso	Kg	32	40	34	35	34	34	42	44	38	38	49	40	42	47	49	68	68	73	72	70	61	89	104	108	89	92	106	105	106	126	132	162	132	142	178	136	156	193	183	192	246	280
Dados Construtivos \ Tamanhos	UNID.	25-150	25-200	32-125.1	32-125	32-160.1	32-160	32-200.1	32-200	40-125	40-160	40-200	50-125	50-160	50-200	65-125	32-250.1	32-250	40-250	50-250	65-160	65-200	80-160	40-315	50-315	65-250	80-200	80-250	100-160	100-200	65-315	80-315	80-400	100-250 *	100-315	100-400	125-200 *	125-250 *	125-315	125-400	150-200	150-250	150-315	150-400

(1) Para o tamanho 25-200, o alívio do empuxo axial é feito por furos de alívio
* Para 100-250 e 125-200 a rotação máx. = 2.900 rpm

• 125 Lb FF •• 250 Lb FF

Anexo C

Condicionadores de ar centrais a ar por expansão direta conforme método prescritivo RTQ-C

Nesta seção são apresentados os cálculos das variáveis avaliadas na parcela de condicionamento de ar através do método prescritivo conforme orientado pelo RTQ-C do INMETRO.

C.1 Resultados – Condicionamento de Ar

Os equipamentos de ar condicionado instalados são os seguintes:

Pavimento: Térreo

Local: Casa de máquinas 1 (UE-01)

Equipamento: Condicionador tipo self-contained com condensador integrado

Modelo: 40BXA 16226S

Fabricante: Carrier

Potência frigorífica: 15 TR (52,8 kW)

Potência elétrica: 19,542 kW

Ambientes: caixas, salão de atendimento, antecâmara, sala segurança, sala técnica, tesouraria, retaguarda

Pavimento: Térreo

Local: Casa de máquinas 1 (UE-02)

Equipamento: Condicionador tipo self-contained com condensador integrado

Modelo: 40BXA 08226S

Fabricante: Carrier

Potência frigorífica: 7,5 TR (26,4 kW)

Potência elétrica: 10,135 kW

Ambientes: auto-atendimento e corredor de abastecimento

Pavimento: Térreo

Local: Sala Técnica (UE-05)

Equipamento: Condicionador tipo minisplit

Modelo: 38XCA 18515MC

Fabricante: Carrier

Potência frigorífica: 18.000 BTU/h (5,28 kW)

Potência elétrica: 1,891 kW

Ambiente: sala técnica (back-up)

Pavimento: Térreo

Local: Sala Segurança (UE-06)

Equipamento: Condicionador tipo minisplit

Modelo: 38XCA 18515MC

Fabricante: Carrier

Potência frigorífica: 18.000 BTU/h (5,28 kW)

Potência elétrica: 1,891 kW

Ambiente: sala segurança (back up)

Pavimento: Superior

Local: Casa de máquinas 2 (UE-03)

Equipamento: Condicionador tipo self-contained com condensador integrado

Modelo: 40BXA 14226S

Fabricante: Carrier

Potência frigorífica: 12,5 TR (44 kW)

Potência elétrica: 17,154 kW

Ambientes: salão de atendimento

Pavimento: Superior

Local: Casa de máquinas 2 (UE-04)

Equipamento: Condicionador tipo self-contained com condensador integrado

Modelo: 40BXA 14226S

Fabricante: Carrier

Potência frigorífica: 12,5 TR (44 kW)

Potência elétrica: 17,154 kW

Ambientes: salão de atendimento

Em função dos critérios definidos e adotados nos projetos e especificações, o índice de eficiência do sistema de condicionamento de ar para este prédio atinge o **nível "C"**, com:

EqNumCA = 2,98