



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**TANUSKA R. M. TOSCANO KONIGAMI**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES COMERCIAIS,  
DE SERVIÇOS E PÚBLICAS**

Salvador  
2011

**TANUSKA R. M. TOSCANO KONIGAMI**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES COMERCIAIS,  
DE SERVIÇOS E PÚBLICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia - UFBA, como pré-requisito para obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Potência.

Orientador: Prof. Dr. Caiuby Alves da Costa

Coorientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina de Abreu Silveira

Salvador  
2011

---

K82 Konigami, Tanuska Régia Moura Toscano  
Eficiência energética em edificações comerciais, serviços e  
públicas / Tanuska Régia Moura Toscano Konigami. – Salvador,  
2011.

185 f. : il. color

Orientador: Prof. Doutor Caiuby Alves da Costa

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia.  
Escola Politécnica, 2011.

1. Energia elétrica – Consumo. 2. Arquitetura e conservação  
de energia. 3. Automação. I. Costa, Caiuby da.  
II. Universidade Federal da Bahia. III. Título.

CDD.: 621.31

---

**TANUSKA R. M. TOSCANO KONIGAMI**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES COMERCIAIS,  
DE SERVIÇOS E PÚBLICAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia - UFBA, como pré-requisito para obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Potência.

---

Prof. Dr. Caiuby Alves da Costa - Orientador  
Universidade Federal da Bahia

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristina de Abreu Silveira - Orientadora  
Universidade Federal da Bahia

---

Prof. Dr. Fernando Augusto Moreira  
Universidade Federal da Bahia

---

Prof. Dr. Renato José Pino de Araújo  
UNIFACS - Universidade Salvador - COELBA

Aprovada em 31 de janeiro de 2012.

*“Porque desde a antiguidade não se ouviu, nem com os ouvidos se percebeu,  
nem com os olhos se viu um Deus além de ti, que trabalhe para aquele que  
nele espera.” (Is 64:4)*

KONIGAMI, Tanuska R. M. Toscano. **Eficiência energética em edifícios comerciais, de serviços e públicas**. 185 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

## RESUMO

Embora o Brasil ainda não esteja entre os maiores consumidores mundiais de energia, o consumo de energia elétrica nacional tem crescido de forma bastante significativa. Assim, o Brasil vem adotando algumas iniciativas a fim de otimizar, limitar e controlar o consumo de energia em edificações, como o desenvolvimento de uma regulamentação com requisitos técnicos necessários para a classificação do nível de eficiência energética de edifícios com foco na eficiência energética para edificações comerciais, de serviços e públicas. O texto da regulamentação foi desenvolvido pelo LabEEE para a Eletrobrás no âmbito do programa Procel Edifica. A regulamentação inclui três requisitos principais: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar.

Este trabalho propõe-se apresentar a regulamentação para a classificação do nível de eficiência energética para edificações comerciais, de serviços e públicas com foco na eficiência energética, demonstrando a sua aplicabilidade, sua origem, desenvolvimento, pontos fortes e fracos, a fim de contribuir para o aprimoramento contínuo de tal regulamentação. Apresenta-se também a automação predial como sugestão de ferramenta essencial para otimizar a eficiência energética em edifícios não-residenciais, com ênfase nas áreas de bombeamento e motriz (elevadores, motores).

**Palavras-chave:** Eficiência energética. Edifícios inteligentes. Automação predial. Etiquetagem. Regulamentação. Automação. Iluminação. Sistema de automação.

KONIGAMI, Tanuska R. M. Toscano. **Energy efficiency in commercial buildings, services and public**. 185pp. 2011. Dissertation (Masters in Electrical Engineering) – Federal University of Bahia, Salvador, 2011.

## ABSTRACT

Although Brazil is not yet among the world's largest consumers of energy, national electric power consumption has grown quite significantly. Thus, Brazil has adopted a number of initiatives in order to optimize, restrict and control energy consumption in buildings, such as the development of a regulation on technical requirements necessary to classify the level of energy efficiency of buildings focusing energy efficiency for commercial buildings and public services. The text of the regulations was developed by LabEEE for Eletrobrás within the program “Procel Edifica”. The regulation includes three main requirements: envelope, lighting and air conditioning system.

This work intends to present the rules for classification of level of energy efficiency for commercial buildings and public services, with a focus on energy efficiency, demonstrating its applicability, its origin, development, strengths and weaknesses, in order to contribute to the continuous improvement of such legislation. As well as it presents the building automation as a suggestion of essential tool to optimize energy efficiency in non-residential buildings, with emphasis in the areas of pumping and motive power (lifts, motors).

**Keywords:** Energy efficiency. Intelligent buildings. Building automation. Labeling. Regulation. Automation. Illumination. Automation system.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Evolução do consumo de energia elétrica no Brasil .....	18
Figura 2	Códigos comerciais de energia por Estado – EUA – fev. 2010 .....	26
Figura 3	Modelo da nova certificação de eficiência energética em Portugal (edifícios de serviço) – 2006 .....	36
Figura 4	Modelo da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) ...	47
Figura 5	Arquitetura do sistema de supervisão e controle predial (SSCP) .....	54
Figura 6	Cabeamento estruturado .....	57
Figura 7	Sistemas de cabeamento estruturado EIA/TIA 568 .....	58
Figura 8	Automação do sistema hidráulico (a) e sensores de nível instalados na caixa de água (b) .....	65
Figura 9	Sistemas de bombeamento de água dos setores comercial e de serviço .....	66
Figura 10	Conjunto de publicações para avaliação da eficiência energética de edificações .....	72
Figura 11	Variáveis da equação geral .....	75
Figura 12	Fluxograma de escolha da equação do IC .....	80
Figura 13	Ilustração do cálculo de IC .....	81
Figura 14	Modelo real e de referência .....	93
Figura 15	Requisitos básicos de iluminação .....	101
Figura 16	Consumo de energia elétrica da classe comercial (GWh), no período de maio de 2004 a novembro de 2007 .....	108
Figura 17	Distribuição do consumo de energia elétrica por uso final – Setor de prédios públicos.....	108
Figura 18	Distribuição do consumo de energia elétrica nos setores de hotéis, shopping centers e hospitais – Brasil – ano base 2005 .....	109
Figura 19	Distribuição do consumo de energia elétrica por uso final – Brasil – ano base 2005 .....	112

Figura 20	Iluminação geral em edificações comerciais – Brasil – ano base 2005 .....	118
Figura 21	Sistemas de ar condicionado mais utilizados nos setores hospitalar e hoteleiro – Brasil – ano-base 2005 .....	121
Figura 22	Instalações comerciais que dispõe de transporte vertical – Brasil – ano base 2005 .....	127
Figura 23	Controles predominantes nos sistemas de bombeamento – Brasil – ano base 2005 .....	130
Figura 24	Operação com válvula de estrangulamento (1) e com rotação variável (2) .....	134
Figura 25	Sede do CREA-BA, Módulo I – fachada NO (a) e fachada NE (b) .....	136
Figura 26	Ambiente: Circulação 1 .....	144
Figura 27	Ambiente – sala da secretária .....	145
Figura 28	Telhas de fibrocimento .....	155

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparação entre protocolos considerando características de rede e de configuração .....	61
Tabela 2	Potencial de redução do consumo de energia com o uso de sensores de presença .....	67
Tabela 3	Equivalente numérico para cada nível de eficiência .....	74
Tabela 4	Classificação geral da edificação .....	75
Tabela 5	Pré-requisitos específicos .....	79
Tabela 6	Parâmetros do $IC_{máxD}$ .....	81
Tabela 7	Parâmetros do $IC_{mín}$ .....	81
Tabela 8	Limites dos intervalos dos níveis de eficiência .....	82
Tabela 9	Limite máximo aceitável de $DPI_L$ para o nível de eficiência pretendido – Método da Área do Edifício .....	84
Tabela 10	Limite máximo aceitável de $DPI_L$ para o nível de eficiência pretendido - Método das Atividades do Edifício .....	87-89
Tabela 11	Pré-requisitos específicos do sistema de iluminação .....	90
Tabela 12	Equipamentos escolhidos para avaliação do sistema de CA .....	91
Tabela 13	Condicionadores de ar tipo split .....	91
Tabela 14	Determinação do nível de eficiência CA .....	92
Tabela 15	Pré-requisitos específicos para equipamentos tipo janela ou split	92
Tabela 16	Densidade de potência usando o Método da Área .....	99
Tabela 17	Densidade de potência usando o Método Space-by-Space .....	100-101
Tabela 18	Valores típicos de EER de alguns aparelhos de condicionamento de ar .....	126
Tabela 19	Oportunidades de economia em sistemas de bombeamento .....	131
Tabela 20	Dados técnicos do reator eletrônico Helfont Bivolt – Philips .....	139
Tabela 21	Limite máximo aceitável de $DPI_L$ para o nível de eficiência pretendido – Método das Áreas .....	140

Tabela 22	Dados levantados do Módulo I .....	141
Tabela 23	Potência limite instalada para cada nível de eficiência .....	142
Tabela 24	Dados levantados do Módulo II .....	143
Tabela 25	Potência limite instalada - Módulo II .....	145
Tabela 26	Limite máximo aceitável de $DPI_L$ – Método das Áreas .....	146
Tabela 27	Área e potência instalada por ambiente .....	147
Tabela 28	Área total iluminada e potência instalada para as atividades principais - Módulo III .....	148
Tabela 29	Potência limite instalada para cada nível de eficiência .....	148
Tabela 30	Sistemas de Condicionamento de Ar - Módulo I .....	150
Tabela 31	Sistemas de Condicionamento de Ar - Módulo II .....	151
Tabela 32	Eficiência do conjunto de ambientes - Módulo I .....	152
Tabela 33	Eficiência do conjunto de ambientes - Módulo II .....	153
Tabela 34	Resultado final dos Módulos I, II e III .....	154

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAPI	Associação Brasileira de Automação e Prédios Inteligentes
AC	Área de piso dos ambientes condicionados
ADENE	Agência para Energia de Portugal
$A_{env}$	Área da envoltória
ANC	Área de piso dos ambientes não condicionados de permanência prolongada
$A_{cob}$	Área de projeção da cobertura
AHS	Ângulo horizontal de sombreamento
$A_{pe}$	Área de projeção do edifício
APT	Área de piso dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers</i>
AU	Área útil
AVS	Ângulo vertical de sombreamento
BEN	Balanco Energético Nacional
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
COP	<i>Coefficient of performance</i> (Coeficiente de performance)
CREA-BA	Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia da Bahia
DPI	Densidade de potência de iluminação
$DPI_L$	Densidade de potência de iluminação limite
EER	<i>Energy efficiency ratio</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética

ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EqNum	Equivalente numérico
EUA	Estados Unidos da América
Fd	Fator de depreciação
FA	Fator de altura
FF	Fator de forma
FS	Fator de solar
GT MME	Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações do Ministério de Minas e Energia
HSPF	<i>Heating seasonal performance factor</i>
HVAC	<i>Heating, ventilating and air conditioning</i>
IAB	Instituto de Arquitetos do Brasil
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IECC	<i>International Energy Conservation Code</i>
IPVL	<i>Integrated part-load value</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IRC	Índice de reprodução de cores
LABEFEA	Laboratório de Eficiência Energética e Ambiental da UFBA
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR 5413	Norma Brasileira de Regulamentação de Iluminância de Interiores
NRC	<i>National Research Council</i>
OTTV	<i>Overall Thermal Transmittance Value</i>
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROCEL EDIFICA	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
RAC-C	Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
SCOP	<i>Seasonal Coefficient of performance</i> (Coeficiente de performance sazonal)
SEER	<i>Seasonal energy efficiency ratio</i>
TCC	Temperatura de cor correlata
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1 OBJETIVO E JUSTIFICATIVAS .....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
1.3 METODOLOGIA .....	22
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	22
1.5 RELEVÂNCIA DA PESQUISA .....	23
<b>CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>25</b>
2.1 LEGISLAÇÕES EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES .....	25
2.1.1 Estados Unidos da América .....	25
2.1.2 Canadá .....	29
2.1.3 União Européia .....	30
2.1.3.1 Espanha .....	32
2.1.3.2 Portugal .....	33
2.1.3.3 Reino Unido .....	38
2.1.4 Austrália .....	40
2.1.5 China .....	41
2.1.6 Hong Kong .....	42
2.1.7 Japão .....	43
2.1.8 Egito .....	44
2.1.9 Brasil .....	45
2.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	47
<b>CAPÍTULO 3 – AUTOMAÇÃO PREDIAL</b> .....	<b>50</b>
3.1 AUTOMAÇÃO PREDIAL <i>VERSUS</i> EDIFÍCIOS INTELIGENTES .....	50
3.2 AUTOMAÇÃO PREDIAL .....	52
3.2.1 Características Gerais .....	53
3.2.1.1 Rede de Comunicação de Dados .....	55
3.2.1.2 Meio Físico .....	56
3.2.1.3 Protocolos de Comunicação .....	59

3.3	ARQUITETURA DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PREDIAL .....	61
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	71
<b>CAPÍTULO 4 – REGULAMENTAÇÕES SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....</b>		<b>72</b>
4.1	PROPOSTA DA REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA .....	72
4.1.1	<b>Envoltória</b> .....	78
4.1.2	<b>Sistema de Iluminação</b> .....	82
4.1.3	<b>Sistema de Condicionamento de Ar</b> .....	90
4.1.4	<b>Método da Simulação</b> .....	93
4.2	REGULAMENTAÇÃO DOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA .....	94
4.2.1	<b>Envoltória</b> .....	95
4.2.2	<b>Sistema Elétrico</b> .....	97
4.2.3	<b>Sistema de Iluminação</b> .....	97
4.2.4	<b>Aquecimento, Ventilação e Condicionamento de Ar</b> .....	102
4.2.5	<b>Aquecimento de Água</b> .....	103
4.2.6	<b>Outros Equipamentos</b> .....	104
4.2.7	<b>Apêndice G (<i>Performance Rating Method</i>)</b> .....	104
4.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	104
<b>CAPITULO 5 – EFICIENTIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS .....</b>		<b>107</b>
5.1	CLASSES COMERCIAL, DE SERVIÇOS E SETOR DE PRÉDIOS PÚBLICOS .....	107
5.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS SISTEMAS DE USO FINAL .....	112
5.2.1	<b>Sistema de Iluminação</b> .....	113
5.2.1.1	<i>Componentes do Sistema de Iluminação</i> .....	114
5.2.2	<b>Projeto Eficiente de Iluminação</b> .....	120
5.2.3	<b>Sistemas de Climatização e Conforto Ambiental</b> .....	121
5.2.3.1	<i>Cargas Térmicas</i> .....	121
5.2.3.2	<i>Ventilação</i> .....	122
5.2.3.3	<i>Sistemas de Condicionamento de Ar</i> .....	122
5.2.3.3.1	Classificações dos Sistemas de Condicionamento de Ar .....	122
5.2.3.3.2	Eficiência nos Sistemas de Condicionamento de Ar .....	125
5.2.4	<b>Sistemas de Elevadores</b> .....	127

5.2.4.1	<i>Medidas de Redução do Consumo de Energia Elétrica</i> .....	128
<b>5.2.5</b>	<b>Sistemas de Bombeamento</b> .....	129
5.2.5.1	<i>Controle de Velocidade</i> .....	131
5.2.5.2	<i>Economia de Energia utilizando Controladores de Velocidade</i> .....	132
5.3	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	134

## **CAPITULO 6 – AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO SEDE DO CREA-BA – MÉTODO PRESCRITIVO ... 135**

6.1	INTRODUÇÃO .....	135
6.2	ESTUDO DE CASO: CREA-BA .....	136
6.3	METODOLOGIA .....	136
6.4	ENVOLTÓRIA .....	138
6.5	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO .....	138
<b>6.5.1</b>	<b>Análise dos Pré-Requisitos</b> .....	139
<b>6.5.2</b>	<b>Método das Áreas</b> .....	139
<b>6.5.3</b>	<b>Resultados – Método Prescritivo</b> .....	140
6.6	SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR .....	149
<b>6.6.1</b>	<b>Determinação do Nível de Eficiência Simulado</b> .....	149
6.7	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	154
6.8	CONCLUSÃO .....	154
<b>6.8.1</b>	<b>Envoltória</b> .....	154
<b>6.8.2</b>	<b>Sistema de Iluminação</b> .....	155
<b>6.8.3</b>	<b>Sistema de Ar Condicionado</b> .....	156
6.9	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	156

## **CAPITULO 7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES ..... 157**

7.1	CONCLUSÕES .....	157
7.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	158

## **REFERÊNCIAS ..... 160**

## **ANEXO – RESULTADOS DA ENVOLTÓRIA - MÉTODO PRESCRITIVO ..... 167**

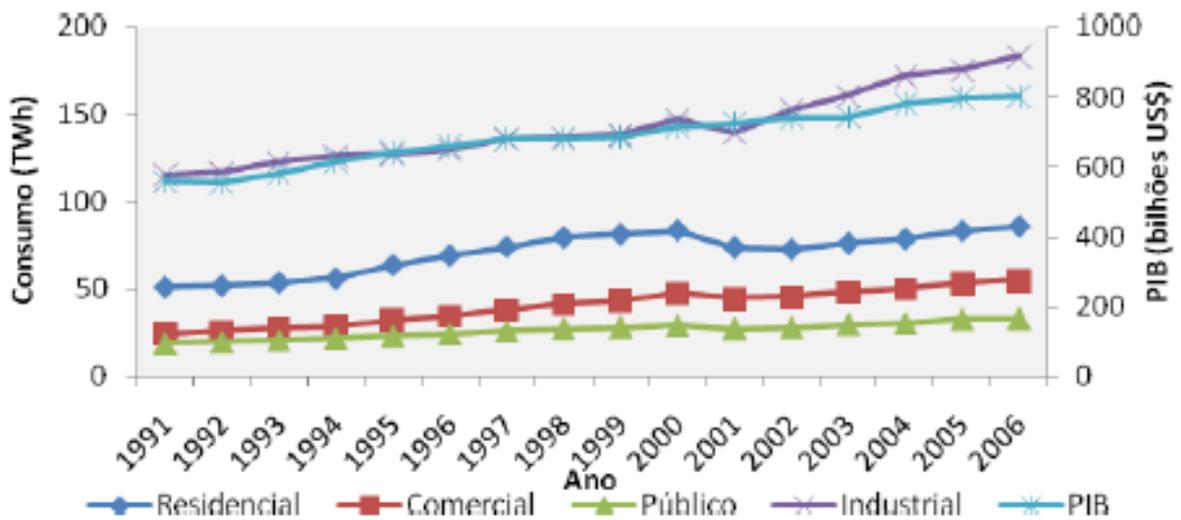
## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

### 1.1 OBJETIVO E JUSTIFICATIVAS

O consumo crescente de energia *per capita* é uma realidade nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, tornando-se uma das principais questões a serem enfrentadas pela economia destes países. O consumo no Brasil tem crescido de forma significativa nos últimos anos. Em 2009, o consumo de energia elétrica totalizou 426 TWh, indicando um decréscimo de 0,47% em relação ao ano anterior devido ao forte impacto da crise financeira internacional. Contudo, seus efeitos se concentraram no setor industrial, sendo que a demanda interna se manteve aquecida devido às medidas tomadas pelo governo para minimizar os efeitos da crise. Dessa forma, o consumo das classes residencial e comercial, a despeito da crise, manteve patamar elevado de expansão em 2009.

Já a oferta de eletricidade do país em 2008 mostrou um aumento de 4,1% em relação a 2007, atingindo um montante de 506 TWh, porém, em 2009, apresentou um aumento de apenas 0,2%, atingindo um montante de 507 TWh, conforme o Balanço Energético Nacional (BEN). Devido ao aumento na demanda total por energia, a matriz energética brasileira vem sofrendo alterações na sua estrutura desde 1973, com o incremento no uso de fontes renováveis, sendo que a energia hidráulica permanece com supremacia na matriz de oferta de energia elétrica, representando 85,2% do total (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2010, p. 58).

Observa-se também que o aumento do consumo de energia nas edificações está associado ao crescimento do PIB, indicando a relação entre o crescimento do consumo de energia elétrica e da economia nacional. A Figura 1 apresenta a evolução do consumo de energia elétrica de edificações dos setores residencial, comercial e público no Brasil, de 1991 a 2006, em conjunto com o crescimento da economia. Em 2001, a economia brasileira sofreu retração, decorrente do desaquecimento da economia americana, agravada pelos atentados terroristas, e também pela crise de abastecimento de energia elétrica que se estabeleceu no país (LAMBERTS et al., 2007, p. 1020-1021).



**Figura 1** – Evolução do consumo de energia elétrica no Brasil

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2007.

O BEN de 2010 indicou um aumento da participação da eletricidade no consumo final de energia no Brasil – 16,3% em 2008 e 16,6% em 2009 – enquanto a capacidade instalada de geração de energia elétrica total cresceu 3,6% entre 2007 e 2008, passando de 100,45 GW para 104,11 GW, e 2% entre 2008 e 2009, passando de 104,11 GW para 106,21 GW (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2010, p. 20, 162).

O comportamento dos indicadores de ocupação e renda se reflete no consumo de energia do setor residencial, em particular, no consumo de energia elétrica. De fato, o consumo do setor residencial em 2008 apresentou crescimento de 5,2%, devido principalmente ao aumento da renda e à ligação de domicílios que não eram atendidos por redes elétricas. Já o setor comercial também apresentou aumento acima da média, 6,8%, também como reflexo do aumento do poder aquisitivo das famílias, enquanto as indústrias apresentaram pequena variação da ordem de 2,4% (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2009, p. 15).

De acordo com Borduni (2006, p. 2), diversos fatores são apontados para justificar o amplo consumo. O estudo feito por Geller et al., em 1994, conclui que 40% da energia elétrica utilizada em edificações comerciais e públicas é consumida pelo sistema de climatização. Lomardo, em 1998, mostra que o consumo de energia elétrica em sistemas de climatização, pode representar de 50% a 70% do consumo de uma edificação, dependendo da fachada do prédio. Já o estudo de Mascaro, em

1992, afirma que a má orientação da edificação pode representar um gasto de 25 a 45% a mais de energia elétrica com climatização.

De acordo com os dados relatados no estudo realizado por Simas (2009, p 18), Lamberts, em 2004, conclui que 19% do total da produção nacional de energia elétrica é utilizada em edifícios comerciais e públicos, onde a iluminação e o condicionamento de ar são os grandes responsáveis pelo consumo. Lima, em 2006, descreve uma amostra de hotéis em que o consumo anual de energia elétrica varia entre 43 e 222 kWh.ano/m<sup>2</sup>, sendo que sua estimativa de uso final de energia é de 75% para condicionadores de ar, 8% para iluminação e 17% para equipamentos. Já a pesquisa de mercado de edifícios comerciais atendidos por alta tensão identificou um uso final médio de 47% devido ao sistema de condicionamento de ar, 22% referente ao sistema de iluminação e 31% pelas outras cargas do edifício (CORREIA, 2007a); e nos edifícios públicos, 48% devido ao condicionamento de ar, 23% iluminação, 15% equipamentos de escritório e 14% devido a cargas como bombas e elevadores (CORREIA, 2007b).

Estima-se que 47,6% da energia elétrica produzida no país sejam consumidas na construção, operação, manutenção e reciclagem das edificações. Esse consumo é distribuído entre os setores residencial (23,9%), comercial (15,1%) e público (8,6%) (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2010, p. 28). No caso de prédios comerciais e públicos, o condicionamento de ar e a iluminação artificial são os grandes responsáveis pelo consumo, de acordo com o MME em 2007 (DIDONÉ, 2009, p. 23).

O consumo de energia em edificações está relacionado à carga térmica devido ao envoltório<sup>1</sup>, sistema de iluminação artificial, equipamentos e condicionamento de ar. De acordo com Neves e Caram (2003), principalmente nos edifícios comerciais, preocupações com o consumo de energia e meio ambiente não ocorrem, devido à utilização de modelos de edificações provenientes de outros países, como as caixas de vidro, utilizadas de forma indiscriminada pelo seu valor estético, normalmente impróprio ao clima brasileiro (DIDONÉ, 2009, p. 23).

Assim, somente após a crise de energia de 2001 é que surge a primeira iniciativa no âmbito de legislações efetivamente instituídas para promover a

---

<sup>1</sup> Envoltório: planos que separam o ambiente interno do ambiente externo.

eficiência energética no país, a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que “dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia”, que foi regulamentada pelo Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001, indicando no artigo 1º que “os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética [...] bem como as edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica [...]” (BRASIL, 2001). No âmbito desse decreto foi criado o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País (GT - MME) para propor uma forma de regulamentar as edificações construídas no Brasil visando o uso racional da energia elétrica. Por meio do plano de ação para eficientização energética em Edificações foi lançado em 2003, o Programa de Eficiência Energética em Edificações, PROCEL Edifica, que apresenta seis vertentes de ação: arquitetura bioclimática, indicadores referenciais para edificações, certificação de materiais e equipamentos, regulamentação e legislação, remoção de barreiras à conservação de energia e educação. Cada vertente apresenta uma série de projetos que visam implementar a eficiência energética na cultura construtiva nacional, desde a fase anterior ao projeto até a revisão de leis de eficiência energética para constante atualização tecnológica. Sendo que um deles é o desenvolvimento da própria regulamentação da eficiência energética em edificações (LAMBERTS et al., 2007, p. 1022).

Em junho de 2004, foi assinado o Convênio ECV 007/2004 entre a Eletrobrás/UFSC<sup>2</sup> para desenvolvimento da base técnica para esta regulamentação. O GT optou por desenvolver uma regulamentação para etiquetagem de edifícios, em vez de uma norma de prescrições mínimas, o que pode gerar um diferencial de mercado para edificações mais eficientes. Em dezembro de 2005, foi criada a Secretaria Executiva, sob a coordenação do PROCEL, com a participação do Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM), do Instituto de Arquitetos do Brasil (IAB), da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), da Caixa Econômica Federal e da UFSC. E finalmente, em setembro de 2006, foi aprovada pelo Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE) a versão experimental do texto da regulamentação de etiquetagem de nível de eficiência de edifícios (LAMBERTS et al., 2007, p. 1022).

---

<sup>2</sup> Intitulado “Elaboração de Regulamentação e Classificação de Edificações Eficientes”.

Com origem a partir da década de 1980, a automação em edificações colocou à disposição do homem inovações significativas para o setor da construção civil. Basicamente, essas tecnologias consistem na elaboração de sistemas automatizados de controle e gerenciamento das instalações prediais, visando essencialmente, o conforto, a redução dos custos operacionais e a segurança patrimonial. Sistemas desse tipo necessitam de instalações adequadas na edificação. Sendo assim, essa tecnologia exige certas preocupações em relação à concepção arquitetônica no que diz respeito à incorporação de novos elementos no projeto arquitetônico, ou a posteriores adaptações (ROCKENBACH, 2004, p. 4).

Na atualidade, mudanças na arquitetura tanto na organização, quanto na utilização de espaço são pensadas na forma de edifícios de alta tecnologia ou edifícios inteligentes. Uma das maiores preocupações dos edifícios inteligentes é a economia com o consumo de energia, sendo, portanto, o ponto de maior relevância a impulsionar o uso de automação nas edificações.

### **Objetivo**

Em face destas condicionantes, o presente trabalho tem por objetivo fazer um revisão bibliográfica das regulamentações existentes de eficiência energética dos edifícios não-residenciais, para que se possa compreender melhor a origem do regulamento de eficiência energética das edificações brasileiras. Levantando a origem das suas ideias, dos parâmetros relevantes utilizados em suas equações, fazendo uma análise da sua importância e apresentando itens relevantes que não foram considerados (como automação predial), repensando assim, os critérios já estabelecidos no regulamento de etiquetagem de edifícios. Objetiva também estudar a evolução da tecnologia da automação predial, sob o enfoque de sua influência na produção arquitetônica atual segundo a regulamentação de eficiência energética existente.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

O trabalho tem como objetivos específicos:

- realizar uma revisão bibliográfica das normas e legislações sobre eficiência energética em edifícios comerciais, de serviço e públicos;

- estudar e aplicar a metodologia apresentada no regulamento brasileiro (RTQ-C) para edifícios comerciais, de serviços e públicos em um estudo de caso;
- abordar conceitos de automação predial e sustentabilidade, através do levantamento bibliográfico disponível sobre o tema, identificando sua origem, histórico e outros aspectos relevantes de modo a compreender os diferentes motivos que levam às suas aplicações;
- apresentar as tecnologias de automação predial disponíveis no mercado e suas possíveis aplicações, apresentando-as como sugestão de inclusão na regulamentação em construção.

### 1.3 METODOLOGIA

Inicialmente, foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica com o intuito de formar a base teórica necessária para posterior discussão e análise dos principais conceitos envolvidos no tema. Em paralelo, foram realizadas visitas técnicas para levantamento dos dados referentes aos sistemas existentes do prédio do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia da Bahia (CREA-BA), onde o estudo de caso foi realizado.

Desta forma, o desenvolvimento do trabalho foi baseado nas seguintes etapas:

- revisão teórica;
- estudo de caso;
- conclusões.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em sete capítulos e um anexo. No primeiro capítulo é apresentada a importância do tema em estudo, os objetivos e a justificativa para o desenvolvimento do trabalho, além da metodologia aplicada e a estrutura geral. O segundo capítulo consiste numa revisão bibliográfica,

apresentando o estado-da-arte no desenvolvimento de normas e legislações existentes relacionadas à eficiência energética em edificações. O terceiro capítulo aborda a automação predial, trazendo informações sobre o conceito, o histórico, os precedentes da tecnologia da automação predial, etc. O quarto capítulo trata do regulamento de etiquetagem das edificações não residenciais brasileiras. Aborda-se também, de forma mais detalhada, o regulamento para edificações não residenciais norte-americanas. No quinto capítulo apresenta-se a efficientização predial, onde são enfatizados os sistemas de iluminação, condicionamento de ar, transporte vertical, bombeamento e dispositivos de partida e controle de velocidade. O sexto capítulo apresenta um estudo de caso referente a uma edificação, no qual a metodologia do regulamento, Requisitos Técnicos da Qualidade (RTQ-C), é aplicada. No sétimo capítulo apresentam-se as conclusões deste trabalho, incluindo as sugestões para trabalhos futuros. E, por fim o Anexo, que consiste da avaliação do sistema de envoltória do estudo de caso realizado utilizando o método prescritivo do RTQ-C.

## 1.5 RELEVÂNCIA DA PESQUISA

Considerando-se o consumo e elevado grau de desperdício de energia nas edificações brasileiras torna-se imprescindível ressaltar a importância da análise de Eficiência Energética nas Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.

Já a automação predial ser utilizada como ferramenta auxiliar na obtenção de um bom desempenho com relação à eficiência energética das edificações, por possuir como um de seus objetivos a otimização do uso das instalações prediais, através de sistemas de controle e gerenciamento, onde a amortização do investimento nestes equipamentos dar-se-á através da economia gerada ao longo de sua vida útil. Assim, este trabalho pretende contribuir para a ampliação do conhecimento sobre os sistemas de automação existentes, encarando-os do ponto de vista da legislação atual, arquitetônico e sustentável.

O trabalho ganha especial importância por seu tema possuir caráter atual, ter aspecto multidisciplinar e o seu conteúdo ainda estar sendo construído, o que possibilita a troca de saberes.

## CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo consiste em uma breve revisão bibliográfica, apresentando o estado-da-arte no desenvolvimento de normas e legislações existentes relacionadas à eficiência energética em edificações no mundo.

### 2.1 LEGISLAÇÕES EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Na atualidade existem várias iniciativas no âmbito internacional relacionadas com a melhoria da eficiência energética nas edificações, sendo que as primeiras normas de eficiência energética em edificações surgiram na década de 1970, após a crise do petróleo. Vários países lançaram programas de incentivo à redução do consumo de energia, resultando posteriormente na criação de normas de eficiência energética, como a *Standard 90 – Energy Conservation in New Building Design* e a norma californiana *Title 24* de 1978 (GOULART, 2005a, p. 3).

EUA, Canadá, México, Portugal, Espanha, Reino Unido, Austrália, Egito, Singapura, Japão, Hong Kong, Filipinas, Chile, Brasil, entre outros países, possuem algum tipo de norma ou lei em eficiência energética em edificações. Muitos países revisaram suas leis a fim de atender ao Protocolo de Quioto, de 1997. O Protocolo de Quioto é o documento final da Convenção das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas que regula a emissão de gases na atmosfera, responsáveis pelo efeito estufa (GOULART, 2005a, p. 3).

A primeira lei brasileira relativa à eficiência energética em edificações foi publicada em 2001, durante o racionamento de energia elétrica (BRASIL, 2001).

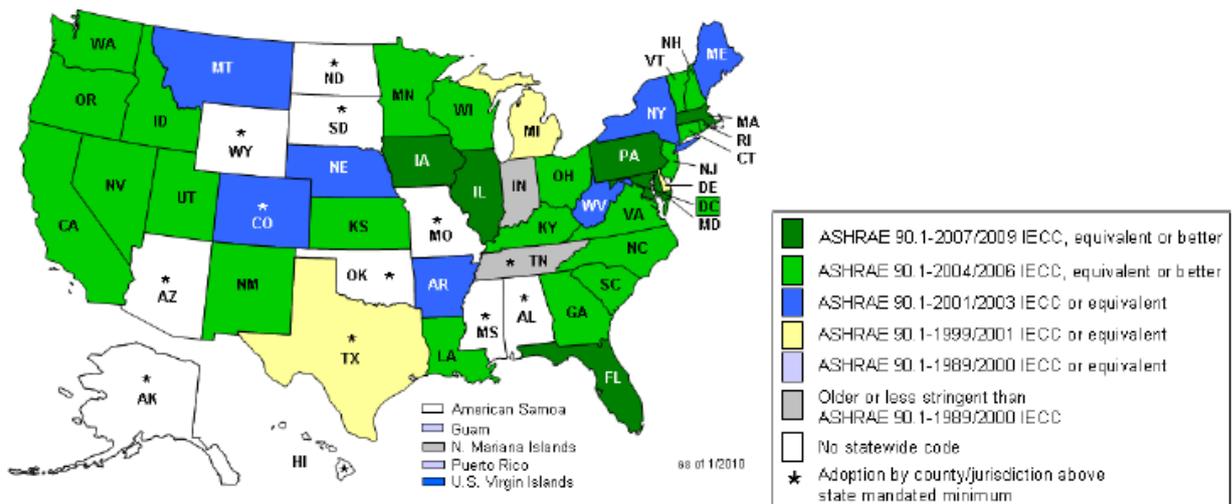
#### **2.1.1 Estados Unidos da América**

Nos Estados Unidos da América (EUA) as edificações consomem mais energia que qualquer outro setor da economia, existindo um grande potencial de melhoria em sua eficiência energética. Foi criado nos EUA, em 1992, para regular o uso de combustíveis fósseis para geração de energia, o *Energy Policy Act*, que tinha por finalidade diminuir a dependência do petróleo internacional. É considerada a primeira lei em energia e engloba várias propostas com o objetivo de aumentar a segurança em energia dos EUA, minimizar os efeitos ambientais relacionados com a

produção de energia e incentivar o crescimento econômico no longo prazo, sendo que as principais provisões do ato contemplam normas em eficiência energética, novas opções que regulamentam a geração de energia elétrica, mudanças em licenciamento para energia nuclear e vários incentivos fiscais (GOULART, 2005a, p. 7).

O *Energy Policy Act* determina que cada Estado tem que revisar os seus códigos de eficiência energética para estar em conformidade ou superar as exigências do *Model Energy Code 1992* para edificações residenciais, e da *ASHRAE Standard 90.1 - 1989*, para edificações comerciais (GOULART, 2005a, p. 7).

Como mostra a Figura 2, vários estados adotam a *Standard 90.1* ou versões anteriores, outros ainda possuem regulamentações próprias – como o caso da Califórnia, com sua norma *Title 24* – que podem ser adaptações de uma destas normas e outros não possuem nenhum código. A versão mais atual do *Standard 90.1*, em vigor, é a de 2010.



**Figura 2** – Códigos comerciais de energia por Estado – EUA – fev. 2010

Fonte: Boulin, 2010, p. 3.

A seguir serão apresentadas as características dos principais códigos de eficiência energética adotados nos EUA: *Model Energy Code*; ASHRAE 90.1 e 90.2, com foco na norma para edificações não residenciais.

### ***Model Energy Code (MEC)***

Contém critérios de eficiência energética para edifícios residenciais, comerciais novos e ampliações de edifícios existentes. O enfoque mais expressivo do MEC encontra-se no envelope do edifício, incluindo as janelas. Estabelece isolamento nos forros, paredes, pisos e em torno das lajes, sendo o rigor do isolamento variável de acordo com o clima. Aplica-se a edifícios residenciais uni e bifamiliares e também a edifícios baixos multifamiliares (GOULART, 2005a, p. 12-13). O *International Energy Conservation Code* (IECC) é considerado uma evolução do MEC (SANTOS; SOUZA, 2008, p. 6).

### ***Standard 90.1 – ASHRAE***

A primeira norma de eficiência energética em edificações foi a ***Standard 90 – Energy Conservation in New Building Design***, elaborada como parte do programa dos EUA de incentivo à eficiência energética. Evoluiu para a *Standard 90.1*, para edificações não residenciais e a *Standard 90.2*, para edificações residenciais (ASHRAE, 2004).

A ASHRAE apresentou sua norma de eficiência energética para edificações, exceto para edificações não residenciais, a *Standard 90.1 – Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings* (ASHRAE, 1999) em 1989. É pautada em um índice de avaliação da transmissão de calor - OTTV (*Overall Thermal Transmittance Value*) - do ambiente externo para o ambiente interno através do envoltório da edificação (GOULART, 2005a, p. 20).

Em 1999, o *Standard 90.1* (ASHRAE, 1999) foi atualizado, apresentando alterações significativas, eliminando o OTTV e utilizando um método prescritivo, sistema de compensações (*trade off*) e o *Energy Cost Budget*. O método prescritivo indica limites máximos ou mínimos para algumas das características da envoltória como: transmitância térmica de elementos opacos e transparentes, resistência térmica de isolamentos, fator solar de vidros de acordo com a área de janela na fachada e orientação solar. Tais limites são ainda divididos em edificações não residenciais e residenciais acima de dois pavimentos. O método de compensações (*trade-offs*) possibilita ao projetista balancear soluções de forma que o projeto final atenda às exigências da norma; assim limites mínimos de eficiência que tenham sido ultrapassados possam ser compensados pela inserção de outros limites mais rígidos

conforme o método prescritivo. Nesta avaliação deve-se usar um programa computacional reconhecido pela norma. O *Energy Cost Budget* é pautado na simulação computacional do consumo de energia de dois modelos, no qual os custos provenientes do consumo de energia são comparados. Um modelo deve seguir os parâmetros indicados no método prescritivo e os custos de seu consumo não podem ultrapassar os custos do modelo de projeto, definido conforme o projeto de edificação a ser aprovado (GOULART, 2005a, p. 20).

A versão de 2007 da *Standard* 90.1 apresenta critérios obrigatórios referentes à envoltória, sistemas de aquecimento, ventilação e de condicionamento de ar, aquecimento de água, sistemas de distribuição de energia, sistemas de iluminação e outros equipamentos (ASHRAE, 2007). O país foi dividido em zonas bioclimáticas, pelo método de graus-dia para resfriamento e aquecimento, onde cada clima é relacionado a uma tabela com as prescrições limites para componentes opacos e transparentes (ASHRAE, 2004) (GOULART, 2005a, p. 21).

A norma *Standard* 90.1 apresenta requisitos para a eficiência mínima, não diferenciando o impacto da envoltória, do sistema de iluminação e do condicionador de ar no consumo de energia elétrica. Esses sistemas são abordados em capítulos independentes, sendo desvinculados quando utilizado o método prescritivo. Atendendo-se o mínimo estabelecido, este método permite o uso de uma envoltória extremamente eficiente com um sistema de condicionamento de ar de eficiência mínima, ou um sistema de iluminação eficiente com uma envoltória com eficiência mínima. Dessa forma, mesmo nivelando o grau de eficiência, sua estrutura permite que discrepâncias sejam aprovadas. Para solucionar tal deficiência foi apresentado, no apêndice G da versão de 2004, um método de simulação e classificação de edificações cuja eficiência seja maior que o mínimo estabelecido. Assim, a versão de 2004 inovou em relação às anteriores ao ampliar os objetivos da *Standard* 90.1 estabelecendo bases de classificação da eficiência acima da eficiência mínima tradicional (ASHRAE, 2004 apud CARLO, 2008, p. 14).

O método prescritivo da norma 90.1 da ASHRAE (2007) determina limites de áreas de aberturas envidraçadas, transmitância térmica de componentes opacos e densidade de potência de iluminação. Apresenta limites de densidade de potência de iluminação interna para o edifício completo e para os ambientes separadamente, de acordo com as atividades exercidas em ambos. Já para o sistema de condicionamento de ar, estabelece limites de eficiência para resfriadores de líquido,

como o COP (*coefficient of performance*), para carga total e IPLV (*integrated part load value*), para carga parcial e também especifica requisitos para motores e o aquecimento de água (CARLO; LAMBERTS, 2010, p. 10).

A *Standard 90.1* (2007) é um exemplo de norma na qual os protótipos para simulação foram pautados em um levantamento nacional de edificações que possui atualização quinquenal (CBECS, 2003 apud CARLO; LAMBERTS, 2010, p. 8).

### **Standard 90.2 – ASHRAE**

A *Standard 90.2 - Energy-Efficiency Design of Low-Rise Residential Buildings* apresenta requisitos mínimos para o projeto energeticamente eficiente de edificações residenciais (GOULART, 2005a, p. 26). Não avalia o sistema de iluminação artificial (LOURA, 2006, p. 23).

Nos Estados Unidos não existe uma Etiqueta Energética obrigatória, e sim, regulações sobre os mínimos de eficiência energética que devem ser cumpridos pelas edificações. Ao mesmo tempo, existem certificações voluntárias, como o *Energy Star* e o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), entre outros.

#### **2.1.2 Canadá**

O *National Research Council* (NRC) é o órgão canadense responsável pela formulação e proposição dos códigos canadenses para adoção por suas províncias. O código proposto pelo NRC para eficiência energética em edificações é o *Model National Energy Code of Canada for Buildings*. É indicado para todas as edificações que não se enquadram no *Model National Energy Code of Canada for Houses*, incluindo edificações residenciais verticais (acima de três pavimentos) e edificações não-residenciais. Baseia-se em extensivas análises de custo-benefício, considerando o clima, tipos de combustíveis, custos da energia e da construção. É composto pelos requisitos obrigatórios para a envoltória, iluminação artificial interna e externa, condicionamento do ambiente e sistema de aquecimento de água. Atendidos os requisitos obrigatórios, pode-se optar por utilizar o método prescritivo ou o método de desempenho da edificação (CARLO, 2008, p. 15).

Para o envoltório, o método prescritivo pode ser utilizado por meio de tabelas ou permutação. As tabelas indicam limites para a transmitância térmica de

componentes opacos e transparentes, estes últimos em função de sua área na fachada, e ambos em função da fonte de energia utilizada para aquecimento da edificação: eletricidade, gás natural ou combustível fóssil. A permutação entre os materiais que formam os componentes da envoltória pode ser realizada com base em cálculos ou em um programa computacional. Para os demais sistemas da edificação, são apresentados métodos de cálculo para estimar as densidades de potência interna da iluminação e para projetar os sistemas de condicionamento de ar e aquecimento de água. Já o método de desempenho da edificação, requer uma estimativa do custo do consumo anual de energia da edificação proposta que seja menor do que o custo de um consumo pré-estabelecido. Possibilita, então, que um consumo-alvo seja visado e fornece fatores de ajuste para diferentes fontes de energia e climas, de acordo com o *Office of the Australian Building Codes* (CARLO, 2008, p. 15-16).

### **2.1.3 União Europeia**

Com o primeiro alerta da limitação de energias renováveis, a maior parte dos países desenvolvidos, em especial os europeus, introduziu os primeiros regulamentos térmicos e energéticos de edificações, no final dos anos 1970. Nos anos 1990, perceberam o problema do aquecimento global vinculado ao aumento das emissões de gases de efeito estufa. De acordo com o estudo de Amorim realizado em 2007, “[...] as crises de abastecimento demonstraram as consequências da escassez de energia e levantou ainda mais a questão do uso racional dos recursos energéticos existentes”. Na Europa, metade da energia utilizada em edificações não residenciais destina-se a iluminação artificial (FERNANDES, 2009, p. 56-57).

De acordo com o relato de Horta, em 2006, o uso de energia em edificações representa 40% da demanda de energia final na UE, sendo responsáveis por mais de 30% da emissão de CO<sub>2</sub>, o que incentivou, em 2003, a publicação da *Diretiva Européia do Desempenho Energético dos Edifícios 2002/91/CE*, que pretendia direcionar o modo como os países europeus deveriam tornar suas edificações mais eficientes sob o foco energético (FERNANDES, 2009, p. 57).

A União Europeia, para efeito do cumprimento do Protocolo de Quioto, comprometeu-se em reduzir as emissões de gases causadores do efeito estufa em

8% no período de 2008 a 2012, comparado com os níveis do ano de 1990 (GOULART, 2005b, p. 2).

As diretrizes europeias relativas ao desempenho energético dos edifícios do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002, foram publicadas no Jornal Oficial das Comunidades Européias em 4 de janeiro de 2003 (MALDONADO, 2006, p. 2). Intitulada Diretiva Europeia 2002/91/CE (*Energy Performance of Buildings Directive - EPBD*) para a política energética e ambiental da EU requer várias medidas para atingir o uso prudente e racional dos recursos de energia e para minimizar o impacto ambiental do uso de energia em edifícios (GOULART, 2005b, p. 3).

De acordo com Fernandes (2009, p. 57), os principais objetivos da Diretiva são:

- elaboração de uma metodologia comum de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios;
- aplicação de requisitos mínimos de eficiência energética para edifícios novos e para grandes edifícios sujeitos a reformas;
- certificação energética de edifícios;
- inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios, e também avaliação da instalação de aquecimento, quando a caldeira tiver mais de 15 anos;
- normas específicas para organismos públicos.

Ainda segundo Fernandes, a Diretiva impôs aos Estados Membros da União Europeia a emissão de Certificados Energéticos nos seguintes casos:

- obtenção de licença de utilização em novos edifícios;
- reforma importante de edifícios existentes;
- locação ou venda de edifícios de habitação e de serviços existentes (validade do certificado: máximo de 10 anos);
- edifícios públicos (de serviços) com mais de 1.000 m<sup>2</sup>.

A Diretiva Europeia 2002/91/CE não determinou um formato único para a certificação energética de cada país, porém estabeleceu que os certificados

obedecessem a certa uniformidade em termos de imagem e conteúdos de informação. O prazo máximo estabelecido para a transposição da Diretiva para cada Estado Membro foi 4 de janeiro de 2006. Já a certificação passou a ser obrigatória a partir de 4 de janeiro de 2009. Para alcançar esses prazos a Comissão Europeia trabalhou ativamente, junto com os Estados Membros, para garantir uma transposição das diretrizes para uma legislação nacional tão completa quanto o possível. Neste sentido a CEN (Comissão Europeia de Normalização) produziu um projeto de norma (prEN 15217/2005) que orientasse os Estados Membros, e estabeleceu os requisitos mínimos para os certificados energéticos, sob o aspecto do certificado e classes para os edifícios (FERNANDES, 2009, p. 57-58).

Assim, a partir das premissas estabelecidas, alguns países membros revisaram suas normas para edificações eficientes. Será abordado o caso de três países da Europa: Espanha, Portugal e Reino Unido.

#### *2.1.3.1 Espanha*

Na Espanha a transposição da Diretiva Europeia se realizou mediante reformulações no quadro regulamentar espanhol, no qual foram incluídos novos requerimentos no setor de edificações, relativos ao consumo de energia, iluminação, isolamento, calefação, climatização, água quente sanitária e utilização da energia solar (EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2011).

O CTE (*Código Técnico de la Edificación*) é o atual código de edificações que estabelece as exigências que devem ser cumpridas pelos edifícios em relação aos requisitos básicos de segurança e habitabilidade estabelecidos pela Lei 38/1999 de Ordenação da Edificação (LOE). Entrou em vigor em 2006, porém existiu um período entre a entrada em vigor e o da sua aplicação, pois um dos subcapítulos (HE2) somente passou a vigorar em julho de 2007 (GOBIERNO DE ESPAÑA, 2006, p.11816).

Dentro das seções de habitabilidade, o CTE inclui o Documento Básico HE Economia de Energia (*DB HE: Ahorro de Energía*), onde se estabelecem cinco exigências de eficiência energética e energias renováveis que deverão ser cumpridas pelos novos edifícios e os que sofrerem reformas, a saber (GOBIERNO DE ESPAÑA, 2009, p. 3): Limitação de demanda energética; Rendimento das Instalações Térmicas; Eficiência Energética das Instalações de Iluminação;

Contribuição Solar Mínima de Água Quente Sanitária (AQS); Contribuição Fotovoltaica Mínima de Energia Elétrica.

Por meio do CTE, DB-HE: *Ahorro de Energia* (CTE, 2009) é explicitado a instalação de sistemas de iluminação caracterizados por sua eficiência energética em conjunto com sistemas de controle que otimizem o aproveitamento da luz natural (ALMEIDA; MARTINS, 2009, p. 14).

Para qualificar a Eficiência Energética de uma habitação ou edifício são estabelecidas duas opções: uma simplificada, de carácter prescritivo, que desenvolve uma metodologia de cálculo de uma forma indireta, e outra geral, baseada no desempenho, que é verificada por um programa computacional.

Carlo (2008, p. 17) relata um estudo de Casals, em 2006, que afirma que a opção simplificada utiliza um indicador inapropriado para a envoltória, com coeficientes de transferências de calor em regime estacionário para cada componente (sem considerar radiação solar). Sendo que este indicador não quantifica o consumo da edificação e não considera o período de resfriamento. De forma similar, considera a opção geral incorreta, uma vez que compara a demanda energética da envoltória com uma envoltória de uma edificação de referência. Tal demanda é calculada por meio de um método que não desvincula a edificação da sua volumetria, o que pode não descrever o desempenho energético corretamente. Casals afirma, assim, que a nova regulamentação só é mais rigorosa para edificações com um baixo fator de forma, pois o método gera uma comparação errônea da volumetria da edificação de referência com a da edificação proposta.

### 2.1.3.2 Portugal

Aprovado pelo Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de fevereiro de 1990, o Regulamento das Características de Comportamento Térmicos dos Edifícios (RCCTE) foi o primeiro instrumento legal que impôs requisitos ao projeto de novos edifícios e de grandes reformas, garantindo condições de conforto térmico aos edifícios, sem necessidade excessiva de energia, tanto para o aquecimento no inverno como para o resfriamento no verão, e que está em vigor desde 1991 (FERNANDES, 2009, p. 58).

De acordo com a Direcção Geral de Energia (2002a, p. 19), aplica-se a edificações residenciais e pequenos edifícios de serviço que não contenham

sistemas de climatização. Seu foco está na envolvente do edifício. Em 1992, surge a regulamentação sobre sistemas de climatização, a partir do Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RQSCE), que esteve em vigor durante um curto período. Surge, em 1998, um segundo regulamento para englobar os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado (AVAC), designado RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios) que foi uma atualização do RQSCE. Estabelece limites na potência instalada bem como restrições na instalação e utilização dos equipamentos e sistemas. Existe, portanto, uma limitação do gasto energético da edificação. Essa foi a maior crítica recebida, devido ao regulamento impor limitações à potência em vez de controlar o consumo. Aplica-se a edificações climatizadas, sobretudo aos edifícios de serviços e a todos os edifícios residenciais que possuam sistemas de aquecimento ou de arrefecimento com potência instalada superior a 25 kW.

Em 2001, Portugal lançou o Programa E4, Eficiência Energética e Energias Endógenas<sup>3</sup>, baseado nas diretrizes europeias e nas resoluções do Protocolo de Quioto (PARLAMENTO EUROPEU, 2002). O Programa E4 pretende englobar as medidas que promovem eficiência energética nas edificações portuguesas, dentre elas (DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA, 2002a, p. 12 apud CARLO, 2008, p. 18):

- revisão da norma térmica de 1991, RCCTE e a norma de climatização, RSECE de 1998, que entraram em vigor em 2006;
- introdução do programa de certificação energética de edifícios;
- promoção da certificação energética das edificações públicas como exemplo à população.

A partir do programa E4 surgiu o Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios (P3E), no qual foram reformuladas as normas técnicas de desempenho térmico e de eficiência energética de edificações, respectivamente, o RCCTE e RSECE. Com objetivo principal de contribuir para o aumento da eficiência

---

<sup>3</sup> Energias endógenas: energias renováveis (solar térmico, solar fotovoltaico) e novas tecnologias energéticas (microturbinas para microgeração, células a combustível etc.).

energética nos edifícios em Portugal, através do desenvolvimento integrado e coerente, das medidas do E4 com incidência nos edifícios (DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA, 2002a, p. 12).

Em 4 de abril de 2006, foram publicados três decretos-lei no Diário da República, que em conjunto, constituíram a transposição da EPBD para o regime jurídico português (MALDONADO; NASCIMENTO, 2006, p. 1):

- DL 78/2006 – Cria o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) e as regras de funcionamento;
- DL 79/2006 – Versão revisada do RSECE que inclui disposições para a inspeção regular de caldeiras e equipamentos de ar condicionado;
- DL 80/2006 – Versão revisada do RCCTE.

De acordo com Fernandes (2009, p. 60), os principais objetivos do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) com mais de 1.000 m<sup>2</sup> são:

- assegurar a aplicabilidade regulamentar definida nos também recém-publicados regulamentos para edifícios, RCCTE e RSECE;
- certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- identificar medidas corretivas ou de melhoria do desempenho energético na edificação e respectivos sistemas energéticos;
- informar os consumidores sobre a qualidade térmica da edificação;
- pressionar os empreendedores para construção de novas edificações, ou reabilitação de existentes, com melhor qualidade ambiental, nos aspectos termo-energéticos, e conforto para os usuários, etc.

Conforme Horta (2006 apud FERNANDES, 2009, p. 61), a revisão da legislação de Portugal procurou um sistema de certificação energética para classificar as edificações em termos da qualidade térmica e dos potenciais consumos de energia, sendo da competência da ADENE (Agência para Energia) o funcionamento do sistema de certificação, o modelo dos certificados de desempenho

energético e da qualidade do ar interior. A Figura 3 apresenta o modelo do certificado de desempenho energético e da qualidade do ar interior para edifícios de serviço.

**Certificação Energética e Ar Interior EDIFÍCIOS** Nº CER 1234567/2007

**CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR**

**TIPO DE EDIFÍCIO:** EDIFÍCIO DE SERVIÇOS / FRACÇÃO AUTÓNOMA DE EDIF. SERVIÇOS

Morada / Situação: \_\_\_\_\_  
 Localidade: \_\_\_\_\_ Freguesia: \_\_\_\_\_  
 Concelho: \_\_\_\_\_ Região: \_\_\_\_\_  
 Data de emissão do certificado: \_\_\_\_\_ Validade do certificado: \_\_\_\_\_  
 Nome do perito qualif.: \_\_\_\_\_ Número do perito qualif.: \_\_\_\_\_  
 Imóvel descrito na \_\_\_\_\_ Conservatória do Registo Predial de \_\_\_\_\_  
 sob o nº \_\_\_\_\_ Art. matricial nº \_\_\_\_\_ Fração autón.: \_\_\_\_\_

Este certificado resulta de uma verificação efectuada ao edifício ou fracção autónoma, por um perito devidamente qualificado para o efeito, em relação aos requisitos previstos no Regulamento dos Regulamentos das Sétimas Energéticas de Climatização em Edifícios (RSECE, Decreto-Lei 79/2006 de 4 de Abril), classificando o imóvel em relação ao respectivo desempenho energético. Este certificado permite identificar possíveis medidas de melhoria de desempenho aplicáveis à fracção autónoma ou edifício, suas partes e respectivo sistema energético e de ventilação, no que respeita ao desempenho energético e à qualidade do ar interior.

**1. ETIQUETA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO**

**INDICADORES DE DESEMPENHO**

Valor do indicador de Eficiência Energética nominal (IEE<sub>nom</sub>) calculado por simulação energética: \_\_\_\_\_ kgoe/m<sup>2</sup>.ano

Valor do Indicador de Eficiência Energética (IEE<sub>edif</sub>) para edifícios novos, ao qual corresponde o limite inferior da classe B': \_\_\_\_\_ kgoe/m<sup>2</sup>.ano

Valor do Indicador de Eficiência Energética correspondente ao limite inferior da classe A\* \_\_\_\_\_ kgoe/m<sup>2</sup>.ano

Emissões anuais de gases de efeito de estufa associadas ao IEE nominal: \_\_\_\_\_ toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes por ano

**CLASSE ENERGÉTICA**

A A+  
 B+ B  
**C**  
 D  
 E  
 F  
 G

O indicador de eficiência energética, IEE<sub>nom</sub>, define a quantidade nominal requerida de um edifício, ou IEE, a energia necessária para o funcionamento de um edifício durante um ano tipo, está relacionado ao funcionamento e ao ambiente de área, ao facto e à posição dos materiais construídos entre outras condições. De emissões não podem tomar tidamente das Indicações e especificações técnicas e práticas de funcionamento das aplicações. O valor de referência para este indicador (IEE<sub>ref</sub>) está definido no D.L. 79/2006 de 4 de Abril para edifícios cuja função se caracterize por ser residencial e em 4 de Junho de 2006, por outro para edifícios de sistemas outros que não. Nos casos do edifício ou fracção autónoma com mais de uma tipologia de utilização, o IEE<sub>nom</sub> e IEE<sub>edif</sub> correspondem à valores ponderados de acordo com as áreas relativas a cada tipologia.

As emissões de CO<sub>2</sub> equivalentes incluem a quantidade anual esperada de gases de efeito de estufa que podem ser liberados em resultado da conversão de uma quantidade de energia elétrica consumida no valor do IEE<sub>nom</sub> multiplicado pela EFC (EF de eficiência do edifício e sistema de climatização) do edifício e sistema de climatização de CO<sub>2</sub> por kWh. A classificação energética baseia-se no desempenho energético dos sistemas de climatização e do funcionamento do edifício ou fracção autónoma. Quando se usa referência ao valor de IEE para edifícios novos apresentados no Anexo VI do RSECE, a classe energética resulta do cruzamento do valor de IEE nominal com a escala apresentada e tal só se aplica ao sistema de climatização. O melhor desempenho corresponde à classe A+, seguida das classes A, B, D-, C e seguintes, até à classe G de pior desempenho. Os edifícios não sujeitos à auditoria de conformidade posterior a 4 de Junho de 2006 apenas poderão ter classe energética igual ou melhor a B- para mais informações sobre a classificação energética de edifícios e sobre o este certificado, consulte [www.adene.pt](http://www.adene.pt)

**EDIFÍCIO OU FRACÇÃO SUJEITO A UM PLANO DE RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICA A CONCLUIR ATÉ** \_\_\_\_\_

O Plano de Racionalização Energética (PRE) é um conjunto de medidas de racionalização energética, preparado na sequência de uma auditoria energética onde se detectaram consumos de energia acima do limite máximo permitido pelo RSECE. A elaboração do PRE é responsabilidade do proprietário no momento da auditoria, tendo sido aprovado pela Entidade Supervisionada SCE. São de implementação obrigatória todas as medidas com viabilidade económica previstas no PRE, sendo a respectiva execução prática e demonstração de resultados, de responsabilidade do actual proprietário, até ao prazo indicado. Consulte o PRE para mais informações sobre as medidas previstas, os custos envolvidos e os resultados esperados.

**2. QUALIDADE DO AR INTERIOR (QAI)**

O presente imóvel cumpre com os requisitos aplicáveis estabelecidos no D.L. 79/2006 de 4 de Abril relativamente à qualidade do ar interior. Conforme aplicável, esses requisitos visam, através da verificação das condições de projecto ou da realização de auditorias periódicas, assegurar que o edifício ou fracção autónoma dispõe de condições adequadas para que as concentrações de poluentes no ar interior sejam inferiores às concentrações máximas de referência, salvaguardando assim a saúde dos seus ocupantes.

O presente imóvel foi sujeito a uma auditoria à qualidade do ar interior onde foram detectados valores de concentração de um ou mais poluentes acima do respectivo valor máximo de referência definido no Anexo VII do D.L. 79/2006 de 4 de Abril, pelo que, conforme previsto no referido Decreto-Lei, o edifício ou fracção autónoma está sujeito a um Plano de Acções Correctivas da QAI a implementar pelo proprietário.

Edição 2006:   
 1/7

**Figura 3 – Modelo da nova certificação de eficiência energética em Portugal (edifícios de serviço) – 2006**

Fonte: ADENE - Agência para Energia. Disponível em: <<http://www.adene.pt/ADENE.Portal>>. Acesso em: 4 mar. 2011.

Conforme Fernandes (2009, p. 62), a primeira versão do RCCTE pretendia limitar potenciais de consumo, sendo pouco exigente nos seus objetivos. Já a versão 2006 do RCCTE impõe limites aos consumos energéticos das edificações. Possui novos requisitos de isolamento térmico, onde o objetivo foi duplicar as espessuras de isolamento das paredes e coberturas para garantir coeficientes de transmissão térmica 40% menores do que os atuais. Introduz também critérios mais exigentes para as pontes térmicas. Vidros duplos nas zonas climáticas mais frias e nas orientações sem significativos ganhos de calor por radiação, também foram adotados.

Novos métodos de cálculo foram estabelecidos, considerando necessidades de energia primária a partir das necessidades de aquecimento e resfriamento e tornou o uso de energia solar para aquecimento de água obrigatório quando atendidas condições pré-determinadas, incluindo também novas exigências à qualidade do ar interior (garantia de condições mínimas de ventilação) (CARLO, 2008, p. 19).

O RCCTE impõe, portanto, mecanismos mais efetivos de comprovação de conformidade do projeto e da obra concluída, com os índices exigidos no regulamento (FERNANDES, 2009, p. 63).

O RSECE deve atuar tanto na fase de projeto como na fase de utilização, exigindo mecanismos de regulação e controle dos sistemas consumidores e de gestão da energia obrigatórios para sistemas de climatização cuja potência instalada for superior a 25 kW. Auditorias deverão garantir que o consumo de energia da edificação não ultrapasse um limite considerado excessivo para cada tipologia, usando o Indicador de Eficiência Energética. Ele é a média dos indicadores dos três últimos anos anteriores à auditoria e considera apenas os requisitos relacionados à eficiência de sistemas de climatização. Os requisitos do envoltório devem ser atendidos usando o RCCTE (CARLO, 2008, p. 19).

Percebe-se assim que o modelo português de regulamentação em eficiência energética é fruto de um processo de amadurecimento de um conceito amplo que abrange vários setores e parâmetros para assegurar a eficiência energética das edificações. As normas foram adaptadas à realidade do país e aos poucos foram revisadas, corrigindo erros identificados. Buscaram a limitação de gastos de energia, vinculado à exigência por índices de conforto térmico e qualidade do ar, adequação da arquitetura às estratégias bioclimáticas locais, além de nova metodologia de

aprovação de projeto e obra concluída, sendo que a viabilidade da obrigatoriedade da certificação só foi alcançada quando conseguiram integrar todos os agentes da cadeia da construção, passando de uma imposição governamental para ser uma adequação dos profissionais, usuários, avaliadores, construtores e fornecedores. Como toda experiência, possui aspectos positivos e negativos, mas acima de tudo demonstra a viabilidade da aplicação de legislações relativas ao conforto térmico e a eficiência energética (FERNANDES, 2009, p. 64-65).

### 2.1.3.3 Reino Unido

As normas de edificações da Inglaterra e do País de Gales se propõem a garantir saúde e segurança para as pessoas dentro e ao redor dos edifícios, pois fornecem requisitos funcionais para o projeto e a construção. Estas normas promovem a eficiência energética nos edifícios através da Parte L (*Schedule 1*), que relata os requisitos legais para a conservação de combustível e energia em edificações. O documento relevante para a eficiência energética em edificações é o *Approved Document L*, que repete os requisitos legais das Normas, fornece um guia com os requisitos que a Secretaria do Estado considera no desempenho de uma edificação para ser considerada eficiente energeticamente, e oferece algumas formas de verificação de conformidade com a Norma. Normalmente, os requisitos limitam as perdas de calor através da envoltória do edifício; do controle dos sistemas de aquecimento do espaço e aquecimento de água; das tubulações de água e dutos de ar quente; e do controle de iluminação em edifícios não residenciais que possuam área iluminada maior que 100 m<sup>2</sup>. O *Approved Document Part L* entrou em vigor em abril de 2002 e a partir desta edição foi subdividido em Parte L1: *Conservation of Fuel and Power in Dwellings* para edificações residenciais e a Parte L2: *Conservation of Fuel and Power in Buildings other than Dwellings* para outros edifícios. Observa-se que estes requisitos abordam apenas o aquecimento (GOULART, 2005b, p. 18-19).

O regulamento para edificações residenciais – Parte L1 – entrou em vigor em 2002 com os seguintes requisitos: limitar a perda de calor (pela estrutura do edifício, pelas tubulações de água quente e dutos de ar quente usados no sistema de aquecimento e pelo sistema de água quente); fornecer sistemas eficientes de aquecimento e de água quente; fornecer sistemas de iluminação adequados e com controles suficientes para que a utilização de energia seja eficiente, e fornecer aos

ocupantes informações suficientes sobre os serviços de aquecimento e de água quente para uma melhor manutenção e operação dos serviços. Três métodos são utilizados para demonstrar que a perda de calor através da envoltória da edificação pode ser limitada: Método dos Elementos, Método “Target U-value” e Método do Índice de Carbono (GOULART, 2005b, p. 20).

Já o regulamento para edificações para outras Edificações – Parte L2 – possui os seguintes requisitos: limitar as perdas e ganhos de calor pela estrutura do edifício; limitar a perda de calor pelas tubulações de água quente e dutos de ar quentes usados nos sistemas de aquecimento e pelo sistema de água quente; fornecer sistemas eficientes de aquecimento e de água quente; fornecer sistemas de iluminação adequados e com controles suficientes para que a utilização de energia seja eficiente; limitar a exposição solar excessiva; limitar os ganhos de calor nas tubulações de água gelada e dutos de ar que alimentam os sistemas de ar condicionado, e fornecer informações suficientes sobre os serviços relevantes para que haja uma melhor manutenção e operação dos serviços. Possui também três métodos alternativos para alcançar a conformidade, que são: Método dos Elementos, Método Global do Edifício e Método de Cálculo das Emissões de Carbono. O Método dos Elementos diz que o envelope da edificação deve possuir certos níveis mínimos de isolamento e cada um dos sistemas de serviços tem que alcançar padrões mínimos definidos de eficiência energética. Segundo o Método Global do Edifício, as emissões de carbono ou o consumo de energia primária ao nível do edifício como um todo deve ser razoável para o propósito de conservação de combustível e energia, para atingir a conformidade. Já o Método de Cálculo das Emissões de Carbono propõe que o valor calculado das emissões anuais de carbono do edifício proposto deveria ser menor do que a de um edifício de referência de mesmo tamanho e forma, projetado conforme o método dos elementos. (GOULART, 2005b, p. 24-25).

Em sua gênese teve como princípio fundamental, o uso de sistemas de iluminação artificial eficientes em conjunto com o aproveitamento da luz natural, que seria gerado pelo uso de aberturas definidas em função da orientação com valores de transmitância superiores a 70% para os envidraçados (ALMEIDA; MARTINS, 2009, p. 14).

#### 2.1.4 Austrália

Na Austrália cada estado ou território tem a responsabilidade de controlar o consumo energético das edificações, podendo adotar uma regulamentação própria. Com o objetivo de estabelecer regulamentações para as edificações, oito estados formaram o *Australian Building Code Board* (ABCD) em 1994. Um código básico de desempenho, que compõe requisitos de desempenho, estimativa de satisfação e métodos de previsão e conformidade, foi desenvolvido em 1996 (LOURA, 2006, p. 29). O *Building Code of Austrália* (BCA) é referenciado por todas as normas de construção de edifícios, porém, apenas dois estados possuem apêndices com requisitos de eficiência energética, limitando a resistência térmica de materiais utilizados somente em edificações residenciais. Para atendimento ao Protocolo de Quioto, foram realizadas emendas no *Building Code of Austrália* para a eficiência energética de edificações comerciais e institucionais incluírem programas que minimizem a emissão de gases de efeito estufa. Os requisitos de desempenho foram atendidos conforme a escolha dos materiais e componentes da edificação, mediante exemplificação de materiais e componentes que atendam o nível exigido pelo código. Como solução alternativa, outros métodos podem ser usados para mostrar que os materiais e componentes do projeto satisfazem ao nível de desempenho pré-estabelecido, permitindo testes em laboratórios, cálculos de avaliação de peritos ou certificação para comprovar o desempenho dos materiais. Os requisitos limitam medidas de eficiência energética ao desempenho térmico para aquecimento e resfriamento, basicamente em relação ao envelope da edificação. Apresenta programa voluntário de certificação e trata a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera para definir o desempenho da edificação, variando de um mínimo de uma até cinco estrelas (CARLO, 2008, p. 20-21).

A versão de 2009, *Building Code of Australia 2009*, enfatiza que uma das preocupações fundamentais, diz respeito à busca de eficiência energética nos sistemas de iluminação, a ser alcançada pela utilização de equipamentos eficientes em conjunto com processos e estratégias de controle aplicadas a esses equipamentos de forma a minimizar o consumo, sem afetar os níveis de conforto (ALMEIDA; MARTINS, 2009, p. 15).

### 2.1.5 China

Em meados dos anos 1980 a China começou a dar maior atenção às questões de eficiência energética em construções urbanas em larga escala (principalmente, edificações residenciais). Desde 2004, a eficiência energética na construção tem sido enfatizada em um grau sem precedentes, com ambiciosas metas de economia de energia sendo definidas no Plano de Conservação:

Até o final de 2010, todas as cidades chinesas deverão reduzir o uso de energia de seus edifícios em 50 %; em 2020, esse número será de 65 %. Além disso, até 2010, 25 % dos atuais edifícios residenciais e públicos nas grandes cidades do país serão adaptados para serem mais verdes; esse número será de 15 % em cidades de médio porte e 10 % em pequenas cidades. Mais de 80 milhões de metros quadrados de área construída serão alimentados com energia solar e outras energias renováveis (HONG et al., 2007, p. 157).

Para o 11º Plano Quinquenal (2006-2010), dez programas foram planejados para melhorar a eficiência energética. A eficiência energética dos edifícios é um deles e existem dois outros relacionados com edifícios (*Environmentally-Friendly Lighting Program* e *Program of Energy Conservation in Governmental Departments*). Espera-se que o setor da construção contribua com 40% da meta de economia de energia total para o período do Plano Quinquenal. Existem dois conjuntos de normas nacionais de energia de construção na China, uma para edifícios não residenciais, e outra para edifícios residenciais. Estas normas nacionais são normas de modelo energético, similar ao Código Internacional de Energia (IEC) ou ASHRAE 90.1 nos Estados Unidos, com a sua aplicação efetiva exercida pelos governos locais ou comissões de construção (HONG et al., 2007, p. 157-158).

O primeiro padrão de energia para edifícios não residenciais foi o padrão para hotéis com condicionamento ambiental artificial, adotado em 1993, denominado GB 50189-93 (China, 1993), visando economia de energia de 30% em comparação com edifícios pré-existentes. Em 2004, um projeto nacional de norma de eficiência energética para edifícios públicos (similar ao edifício comercial) foi adotado. Esta norma estabeleceu uma meta de 50% de economia no uso de energia com aquecimento, refrigeração e iluminação em comparação com edifícios pré-existentes, alcançado por meio de melhorias no envelope do edifício, sistemas HVAC e sistemas de iluminação. A economia das medidas no envelope e equipamentos varia de acordo com as condições climáticas, com as economias variando entre 13-25%

envelope, 16-20% HVAC e 7-18% iluminação. Questões relativas como a escolha e a eficiência dos sistemas prediais e o seu controle automático também são abordados (LOURA, 2006, p. 31). Os padrões residenciais são em grande parte normas para o envelope; o padrão para edifícios públicos também aborda a eficiência do sistema de HVAC, mas não aborda o sistema de iluminação, eletricidade ou água quente. Uma razão para isso é que o MOC tem padrões de energia separados para iluminação (*Building Lighting Design Standard GB 50034-2004*), condicionadores de ar ambiente e equipamento comercial HVAC aos quais se aplicam os padrões de construção. Outra razão é que em edifícios residenciais, o ar condicionado é instalado pelo proprietário do apartamento, fazendo as exigências do padrão de construção de difícil aplicação e, assim, em grande parte opcional (HONG et al., 2007, p. 158-159; LOURA, 2006, p. 31).

A norma residencial, denominada JGJ 26-95 de 1995, contém prescrições normativas para o telhado, piso, parede e janelas que variam de acordo com o clima e o número de andares do edifício (LOURA, 2006, p. 31). Além dessas exigências prescritivas, ambos os novos padrões de edificação residencial e pública contêm opções de desempenho pelo qual um edifício é avaliado a atender a norma, desde que seu uso de energia de construção calculada seja inferior ao de um edifício de referência. A abordagem deste orçamento "custom budget" é semelhante à utilizada nos padrões dos EUA, como ASHRAE 90.1, e difere da abordagem "do orçamento fixo" encontrada em vários outros países asiáticos. Ambas as normas têm um capítulo sobre os requisitos para equipamentos. Além disso, o padrão de energia para edifício público também tem um capítulo sobre monitoramento e controle, a maioria com recomendações sobre como controlar a eficiência energética do sistema HVAC, permitindo a possibilidade de monitoramento de energia. A norma não abrange os sistemas de iluminação, que é abordado por um padrão de energia separado para iluminação que foi desenvolvido pelo MOC em 2003 (HONG et al., 2007, p. 160).

### **2.1.6 Hong Kong**

De acordo com Carlo (2008, p. 21), o Código de Obras de Hong Kong data de julho de 1995. Prevê que as edificações comerciais e hotéis devem atender a um OTTV indicado no *Code of Practice of OTTV for Buildings*. As variáveis utilizadas no

cálculo do OTTV são: área de superfícies opacas, transparentes e total, coeficiente de sombreamento da superfície transparentes, fator solar, diferença de temperatura equivalente da superfície opaca, absorvidade e transmitância térmica da superfície opaca, sendo as superfícies opacas paredes ou coberturas e as transparentes, aberturas envidraçadas verticais ou zenitais

Na prática, o código tem sido aplicado a qualquer edifício climatizado. O governo de Hong Kong além do padrão OTTV, que enfoca a envolvente do edifício, desenvolveu padrões distintos para iluminação, ar condicionado, equipamentos elétricos (todos em 1998) e elevadores (2000). OTTV é um padrão obrigatório, enquanto os outros códigos para iluminação, ar condicionado, equipamento elétricos e elevadores são voluntários. Foram revisados em 2005 os cinco padrões, sendo acrescentado uma opção baseada no desempenho para a envolvente. Dentre os aspectos positivos da política energética de Hong Kong destaca-se a gratuidade das normas que se encontram disponíveis na web (HONG et al., 2007, p. 167-168).

### **2.1.7 Japão**

A primeira lei japonesa sobre uso racional de energia data de 1979 e incluía uma seção sobre edifícios. Esta seção enfatizava medidas para prevenção da perda de calor através de paredes, janelas etc. e a qualidade dos materiais fornecidos para isto, além da necessária eficiência de aparelhos de ar condicionado, ventiladores, sistemas de aquecimento de água, entre outros. A norma energética para edificações residenciais (Orientações sobre o Projeto e Construção para a Racionalização do Consumo de Energia em Residências) possui opções quanto ao desempenho e obrigatoriedade. Estabelece obrigatoriedades sobre coeficiente de transferência de calor, resistência dos materiais isolantes, aplicação de barreiras aéreas, coeficiente de transferência de calor para portas, e "taxa de entrada para isolamento no verão", como por exemplo, coeficiente de ganho do calor do sol no verão (SHGC) das janelas etc. Na revisão de 1999 foi adicionada opção sobre desempenho que especifica os critérios para as cargas anuais máximas de calor e resfriamento, ou perda de coeficiente de calor e coeficiente de ganho do calor do sol no verão. Em vigor desde 2005, a regulamentação para edificações comerciais (*Criteria for Clients on the Rationalization of Energy Use for Buildings*) refere-se a um padrão sobre desempenho e trabalha com dois indicadores (HONG et al., 2007, p.

196): um para o envelope, o PAL (*Perimeter Annual Load*), e outro para equipamentos (*Coefficient of Energy Consumption*, CEC). O PAL refere-se à carga térmica anual dos espaços perimetrais a 5 m da parede externa e do andar acima, abaixo da cobertura, em MJ/m<sup>2</sup>.ano, e inclui também um fator de correção para compensar diferenças de fator de forma. Já o CEC abrange sistemas de iluminação, ventilação, HVAC, água quente e transporte vertical. Os resultados são comparados com valores de referência nacionais, segundo as tipologias das edificações (SANTOS; SOUZA, 2008, p. 8).

Os administradores de edifícios comerciais podem ser submetidos à auditoria energética gratuita organizada pelo *Energy Conservation Center Nacional*. Orientam-se os fabricantes, de forma técnica, para melhorias de desempenho de seus produtos, sendo estimulados a participarem do programa voluntário de etiquetagem para conservação de energia. O *Energy Efficiency Center of Japan* (ECCJ), um centro não governamental apoiado por indústrias, existentes desde 1978, também fornece suporte técnico. O Japão, além de regulamentações, adota iniciativas como um sistema de classificação de desempenho em quatro níveis para avaliar residências conforme uma de suas seis zonas climáticas, e outro para avaliar “edifícios verdes” (sistema CASBEE). Desde 2001, o sistema CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*) considera 22 indicadores nos cálculos, podendo-se citar carga térmica, qualidade do ar, iluminação, conforto térmico, durabilidade do edifício, eficiência de operação, dentre outros (SANTOS; SOUZA, 2008, p. 8).

### **2.1.8 Egito**

Desde 2000, o Egito, com auxílio financeiro das Nações Unidas, desenvolveu suas primeiras normas de energia para edifícios. As normas foram desenvolvidas sob consultoria técnica, fornecida por uma equipe americana formada por membros da *Lawrence Berkeley National Laboratory*, do *The Deringer Group* e da *University of Colorado* (HUANG et al., 2003 apud SANTOS; SOUZA, 2008, p. 9).

Em 2003 foram concluídos a norma residencial (*Residential Energy Efficiency Building Code*) e o projeto de norma para edifícios comerciais e de uso misto. Sendo que a norma para edificações comerciais foi publicada em 2005.

Com estrutura e conteúdo semelhantes entre si, as normas estabelecem padrões mínimos de eficiência. As zonas climáticas da Alexandria e do Cairo são as duas únicas consideradas, por serem regiões que concentram a metade das construções do país. O desenvolvimento das normas foi baseado em simulações de protótipos de prédios residenciais e comerciais por meio do software DOE-2 e seu foco está nas novas edificações. A norma para edificações comerciais possui 11 capítulos que abordam temas como transmitância térmica para elementos opacos, coeficiente de transmissão de calor, isolamento térmico mínimo, ventilação natural, conforto térmico, sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, iluminação artificial e natural (uso de dimerizadores), sistemas elétricos (abordando requisitos mínimos para motores e transformadores), sistemas de aquecimento de água, opção de cálculo do desempenho global do edifício por simulação computacional, dentre outros. Constata-se grande influência da ASHRAE 90.1 e da *Title 24* (SANTOS; SOUZA, 2008, p. 9).

### **2.1.9 Brasil**

No final de 2006 surge a versão experimental do texto do regulamento de etiquetagem de nível de eficiência de edifícios não-residenciais, desenvolvida sob a responsabilidade do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE).

Em fevereiro de 2009, foi publicado o regulamento, Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), como parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO (INMETRO, 2009). Já em setembro de 2010 foi realizada uma revisão do RTQ-C, disponibilizado no *website* <[www.inmetro.gov.br](http://www.inmetro.gov.br)>. A regulamentação para edificações residenciais está em fase de desenvolvimento, também sob a responsabilidade do LabEEE.

A regulamentação para etiquetagem de nível de eficiência de edifícios especifica os requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética (INMETRO, 2010).

O objetivo da regulamentação é criar condições para a Etiquetagem Voluntária do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos e aplica-se a edifícios novos ou existentes, com área total útil superior a 500

m<sup>2</sup> ou atendidos por alta tensão ( $\geq 2,3\text{kV}$ ), incluindo edifícios condicionados, parcialmente condicionados e não condicionados.

A etiquetagem de eficiência energética de edifícios deve ser realizada por meio de método prescritivo ou de simulação. Ambos devem atender aos requisitos relativos ao desempenho da envoltória, potência instalada e à eficiência do sistema de iluminação e à eficiência do sistema de condicionamento de ar. Todos os sistemas têm níveis de eficiência que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). O RTQ-C apresenta os critérios para classificação completa do nível de eficiência energética do edifício por meio de classificações parciais da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar. Uma equação pondera estes sistemas por meio de pesos estabelecidos nos requisitos e permite somar à pontuação final bonificações que podem ser adquiridas com inovações tecnológicas, uso de energias renováveis, cogeração ou com a racionalização no consumo de água (INMETRO, 2010).

As classificações final e parciais são apresentadas na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), conforme apresentado na Figura 4.



Podendo também apresentar uma abordagem alternativa, que pode envolver um sistema de trocas ou avaliações específicas por profissionais devidamente qualificados.

A abordagem prescritiva estabelece limites ou indica soluções que atendam ao exigido para aprovação da edificação proposta, envolvendo propriedades físicas dos componentes do envoltório, como transmitância térmica, fator solar de vidros e resistência térmica de isolamentos. Para sistemas de iluminação artificial, geralmente são estabelecidos limites de densidade de potência de iluminação. Este método é adotado em diversas normas, como no Reino Unido e nos Estados Unidos, com a norma *Standard 90.1*.

O sistema de trocas é uma solução que flexibiliza o uso de materiais e soluções prescritas, geralmente acompanhada de procedimentos específicos de cálculo para proceder à permuta, como acontece na norma do Canadá.

A abordagem por desempenho tem foco nas perdas de calor da envoltória, desempenho global da edificação ou o seu consumo de energia. As formas de adotar esta abordagem variam, sendo as mais comuns: métodos de cálculo para comparação com limites pré-estabelecidos; métodos de cálculo ou simulações para comparações do desempenho térmico ou energético de uma edificação proposta com um modelo que atende à abordagem prescritiva.

As abordagens por desempenho que enfocam as trocas globais da envoltória, como a norma espanhola e a de Hong Kong, ou as abordagens que utilizam a simulação do desempenho térmico, como a *Standard*, fazem uso de variáveis em comum que participam das trocas térmicas entre a edificação e o seu meio externo.

A China apresenta uma zona climática temperada e outra quente e úmida; porém, se resume aos critérios para condicionamento de ar em suas edificações públicas, que são equivalentes aos edifícios comerciais, de serviços e públicos de países capitalistas (HONG, 2009 apud CARLO; LAMBERTS, 2010, p. 10).

O *Standard 90.1* influenciou várias normas de países com características climáticas, construtivas, econômicas e culturais bastante diferentes, tais como: Arábia Saudita, Brasil, Egito, Filipinas, Hong Kong, Jamaica, Malásia, Singapura, Tailândia, entre outros (SANTOS; SOUZA, 2008, p. 7). Entretanto, fica claro que fatores culturais, políticos, tradição construtiva, grau de desenvolvimentos

tecnológico e ambientais deverão ser cada vez mais levados em consideração durante a elaboração e atualização dos códigos energéticos dos países.

Destaca-se ainda que as normas descritas estabelecem parâmetros que descrevem a eficiência mínima da edificação, não se tratando especificamente de edificações eficientes e sim evitando a prática de construção de edificações energeticamente ineficientes.

## CAPÍTULO 3 - AUTOMAÇÃO PREDIAL

Este capítulo apresenta uma visão geral dos conceitos e técnicas empregados em automação predial, ressaltando a sua importância nos sistemas de iluminação, condicionamento de ar, transporte vertical e bombeamento. Sugere-se que tais técnicas sejam integradas a proposta do regulamento do RTQ-C.

### 3.1 AUTOMAÇÃO PREDIAL *VERSUS* EDIFÍCIOS INTELIGENTES

Com o surgimento das instalações prediais, o funcionamento de uma edificação pode ser comparado ao organismo humano. De acordo com Rothenback (2004, p. 29), McLuhan, em 1964, afirmou que os mecanismos para abastecimento (de água e eletricidade), eliminação de dejetos, transporte de elementos em seu interior, e comunicação (telefonia, áudio e vídeo), poderiam ser compreendidos como extensões técnicas do ser humano, ou seja, como mecanismos que ampliariam a capacidade humana de adaptar-se ao ambiente natural, ou de alterar esse ambiente. O mesmo autor considera que a principal característica da mudança da tecnologia, no período pós-guerra, foi a passagem da tecnologia da máquina para a tecnologia da informação e da automação.

Na mesma linha de raciocínio, incorporou-se a vontade de fornecer às edificações um “cérebro” que comandaria, sozinho, todas as ações dos sistemas e mecanismos pré-existentes da edificação, a partir de instruções pré-definidas pelo homem, não necessitando mais de seu trabalho direto ou constante acompanhamento. De acordo com os dados relatados no estudo realizado por Rothenback (2004, p. 30-31), Portoghesi, em 1985, afirma que, estes instrumentos que operam de forma similar ao cérebro humano, sobre informações, elaborando-as e transformando-as, são a maior conquista da ciência recente. Nos anos 1980, esta analogia introduziu o conceito de Edifício Inteligente, pois a automação proveria a edificação de um “cérebro” artificial. Em Cabral, em 1991, McLuhan afirma que, essa revolução científica chamada “automação” tem sua essência em conceitos de simultaneidade, diferentemente da tecnologia da máquina existente até então, onde

sua essência era a fragmentação. Dessa forma, as tarefas deixam de acontecer em etapas sucessivas para serem realizadas simultaneamente.

Com a crise energética, várias soluções foram utilizadas para minimizar o consumo. Com a constatação de que 1/3 da energia utilizada no mundo era consumida pela construção civil, especificamente pelo setor de edificações, surgiu a necessidade de uma administração mais eficaz desta energia por meio do uso dos recursos tecnológicos em plena ascensão. Daí surgem os primeiros edifícios com sistemas automatizados (NEVES, 2002, p. 11).

Quando o conceito de “*smart building*” (edifício inteligente) surgiu na década de 1980 nos EUA, referia-se apenas à automação dos sistemas de serviços de uma edificação. Com o passar do tempo, a consciência de que qualidades ambientais afetam o bem-estar e o conforto dos seres humanos, influenciando, assim, sua satisfação e produtividade, foi agregada à definição a capacidade de suprir as necessidades de seus usuários. Em seguida foram agregados também ao conceito, habilidades como capacidade de aprendizado e adequação ao meio ambiente (BRAGA, 2007, p. 14).

De forma geral, este conceito tem sido utilizado para identificar edificações que possuem quaisquer tipos de mecanismo de controle e supervisão automático, de modo a diferenciá-las das demais no mercado imobiliário, incorporando *status* ao empreendimento, com o objetivo de valorizá-lo comercialmente, pois o termo remete a idéias de edifícios futuristas, com alta tecnologia, dotados de equipamentos de ponta e sistemas informatizados, que prometem maravilhas aos seus usuários (ROCKENBACH, 2004, p. 32).

Assim, o termo continua a ser utilizado, existindo associações e organizações em vários países que tratam do assunto. Muitas destas organizações foram formadas mediante parcerias entre indústrias e instituições de ensino e pesquisa para desenvolver estudos sobre a automação de sistemas prediais, buscando a parametrização do conceito. Existem fatores próprios de cada localidade e tipo de edificação que devem ser considerados para esta parametrização. Uma das organizações de maior influência no Brasil é a Associação Brasileira de Automação e Prédios Inteligentes - ABRAPI. Entretanto, a conceitualização de um Edifício como Inteligente, recebeu as mais variadas críticas, acarretando alterações no seu conceito inicial. Atualmente, seu conceito é mais abrangente, apresentando uma preocupação desde o início do projeto, com materiais e elementos construtivos,

técnicas de construção, gerenciamento ambiental, voltados para objetivos de economia, flexibilidade e conforto. Verifica-se isso por meio de um trecho do Documento de Conceituação de Edifícios Inteligentes, elaborado pela ABRAPI no ano de 2001: “O edifício inteligente é aquele que conjuga, de forma racional e econômica, os recursos técnicos e tecnológicos disponíveis de forma a proporcionar um meio ideal ao desenvolvimento de uma atividade humana”. A forma como o tema foi tratado através dos anos, denegriu a imagem do conceito devido, também, à insatisfação de seus usuários em relação às expectativas criadas. Isto gerou certo abandono do termo, partindo para o uso de outros, como: Edifícios Automatizados (automação predial e residencial), para referenciar edificações que possuem algum mecanismo de controle e supervisão automático (ROCKENBACH, 2004, p. 33).

Não há um limite bem definido para que a edificação possa ser caracterizada como inteligente. Mais interessante seria, caracterizá-la como inteligente, através de “graus” de inteligência, onde poderia ser caracterizada por uma inteligência básica (automação de 25% dos sistemas), moderada (automação de 50% dos sistemas) ou sofisticada (automação acima dos 80% dos sistemas) (BRAGA, 2007, p. 14).

No momento atual, a procura por um ideal de desenvolvimento sustentável também na arquitetura, que considera questões que envolvem, além de preocupações como conforto e saúde dos usuários, o contexto urbano, a racionalização do uso da infraestrutura urbana, alta produtividade com reduzidos impactos ambientais, fez surgir um novo modelo arquitetônico – uma espécie de melhoria dos Edifícios Inteligentes – denominado *High Performance Buildings* (Edifícios de Alta Performance) (ROCKENBACH, 2004, p. 34).

### 3.2 AUTOMAÇÃO PREDIAL

De acordo com Montebeller (2006, p. 21), o uso racional de energia elétrica, segurança e conforto dos usuários e ainda a responsabilidade com o meio ambiente são fatores relevantes para a utilização de tecnologias de automação aplicadas em edificações.

A automação predial como conhecemos hoje surgiu através de outras tecnologias, criadas a partir dos anos 1980, na área da informática. Esta tecnologia teve seu início a partir de redes independentes, onde cada uma controlava um

equipamento específico. Atualmente, vários equipamentos são controlados por meio de uma única central, permitindo assim, que diferentes equipamentos troquem informações entre si (ROCKENBACH, 2004, p. 42).

A integração dos sistemas que compõem a automação predial passou a ser uma exigência atual. O projeto de um edifício inteligente deve prever os equipamentos e o espaço físico necessários para a automação de seus recursos. Os projetistas devem planejar quais tecnologias se deseja utilizar e qual o espaço físico necessário ou disponível para o uso de tais tecnologias, pois uma dificuldade encontrada para a disseminação da automação predial é a falta de estrutura (espaço físico) para transmissão dos dados, que muitas das edificações existentes não possuem, por não terem sido previsto, tornando-se um processo traumático a sua incorporação. Assim, os edifícios devem ser capazes de se adaptarem as futuras tecnologias sem que haja uma grande alteração em sua estrutura (MONTEBELLER, 2006, p. 21).

A integração dos diversos sistemas existentes pode ser definida como a capacidade de compartilhar informações para serem utilizadas de um modo coordenado, ágil e direcionado para otimização dos recursos (REIS, 2002 apud BRAGA, 2007, p. 15).

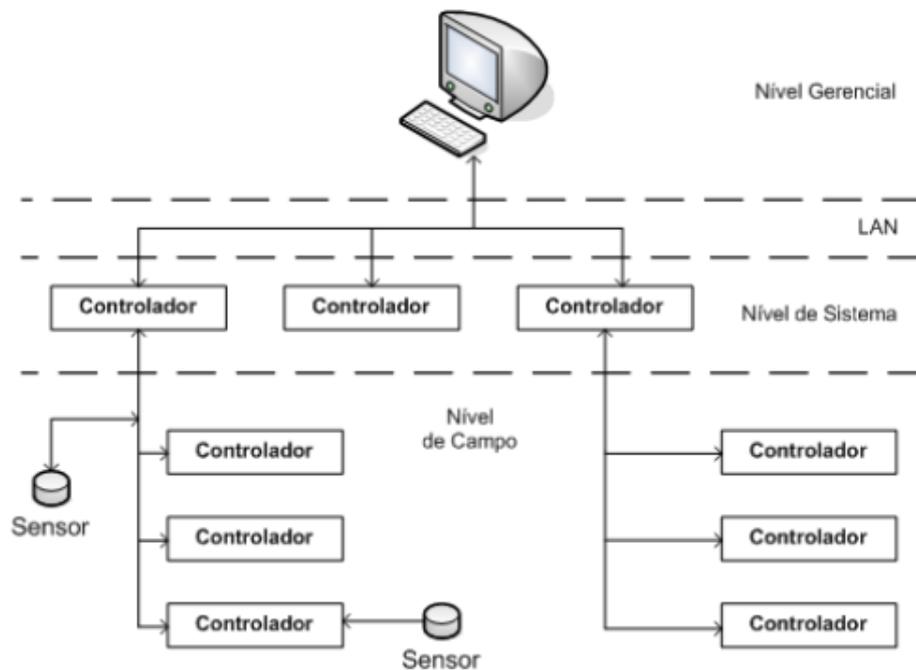
### **3.2.1 Características Gerais**

A interligação entre os sistemas permite que um Sistema de Supervisão e Controle do Edifício possa monitorar sensores, controlar atuadores e registrar eventos originários de toda a edificação. A automação predial é responsável pelo gerenciamento das funções vitais da edificação e pelo controle de acesso e segurança dos usuários basicamente. Estas funções são independentes entre si, porém estão integradas por meio da Central de Controle e Supervisão. Sendo que os componentes da automação, distribuídos por todo o prédio, estão interligados através de uma rede de comunicação de dados, permitindo assim, que todos os sistemas possam se comunicar com a central de controle e supervisão. O Sistema de Supervisão e Controle Predial (SSCP) é responsável por várias ações, dentre as quais podemos destacar (MONTEBELLER, 2006, p. 22-24):

- Centralização de informações oriundas de todas as partes do edifício, com o objetivo de monitorar e controlar todas as funções operacionais;

- Controle automático dos equipamentos e a lógica de funcionamento dos sistemas;
- Economia de energia e redução de custos por meio do uso racional dos recursos disponíveis;
- Fornecimento de ferramentas de *software* para programação da manutenção preventiva dos equipamentos etc.

Conforme Myres (1996 apud BRAGA, 2007, p. 16), o controle automático dos diversos sistemas de uso final é efetuado por dispositivos controladores e processadores que, em conjunto, são denominados Sistema de Supervisão e Controle Predial. Esses dispositivos estão dispostos em uma arquitetura de rede organizada, sob o foco de concepção de sistemas, em diversos níveis de controladores e processadores, como apresenta a Figura 5.



**Figura 5** – Arquitetura do sistema de supervisão e controle predial (SSCP)

Fonte: Myres, 1966 apud Braga, 2007, p. 16.

O primeiro nível, denominado Gerencial, é o responsável pela supervisão do SSCP, composto por microprocessadores com um software supervisor com recursos gráficos e de apresentação amigável, que executa o monitoramento e a gestão de todas as funções vitais do edifício. O segundo nível é denominado Nível

de Sistema e é composto por controladores lógicos programáveis (CLP) ou por equipamentos dedicados, interligados entre si, responsáveis, cada um, por um setor específico que integra dados vindos de outros controladores. Possuem entradas e saídas (digitais e analógicas) que recebem informações oriundas dos sensores ou outros dispositivos, podendo controlar máquinas e equipamentos. O terceiro nível, denominado nível de campo, é composto por sistemas de pequeno porte, com poucas saídas e entradas, utilizados para o controle dos sistemas de serviço da instalação, como por exemplo: iluminação, ventilação, condicionamento de ar, bombas de água. No nível inferior ficam os sensores e dispositivos de medição (BRAGA, 2007, p. 16-17).

### 3.2.1.1 Rede de Comunicação de Dados

O uso de redes de comunicação de dados permite a supervisão e o controle de todos os setores da edificação. O *software* supervisor instalado na Central de Operação tem acesso a todas as informações oriundas dos sensores, podendo alterar e controlar a operação de quaisquer equipamentos ou dispositivos conectados nos controladores (MONTEBELLER, 2006, p. 28).

Em um sistema de automação predial a troca de informações entre os diversos equipamentos dá-se através de uma rede de caráter local, denominada LAN (*Local Area Network*) que é baseada em padrões internacionais. Esta troca de dados pode ocorrer de forma centralizada ou distribuída. As redes centralizadas possuem arquitetura denominada estrela, onde os elementos escravos (sensores, atuadores) são conectados ao elemento mestre (nó central de conexão). Já as redes baseadas em arquitetura distribuída não dependem do envio de dados a central. Os próprios controladores locais recebem informações dos sensores e enviam dados aos atuadores. As possíveis topologias de redes distribuídas são arquitetura em malha, em anel e em barramento. Na arquitetura em malha os elementos da rede estão conectados diretamente entre si e cada elemento pode enviar ou receber dados de outros elementos por vários caminhos, sem passar pelo elemento mestre. Na arquitetura em anel a informação passa por todos os elementos da rede. Já na arquitetura em barramento (*bus*), todos os elementos estão interligados a um canal de comunicação (barramento), e os dados trafegam por todos os elementos da rede (BRAGA, 2007, p. 17).

### 3.2.1.2 Meio Físico

Conforme Bolzani (2004 apud BRAGA, 2007, p. 18), as redes de comunicação devem ser projetadas de acordo com a tecnologia dos equipamentos e com o meio físico utilizado. A conexão física pode ser feita por condutores elétricos (par trançado ou cabo coaxial), fibra óptica ou ar.

Todos os dias surgem novas tecnologias, como por exemplo, as que permitem a transmissão de dados sem fio (denominada *wireless* ou *wi-fi*) ou pela própria rede elétrica (denominada tecnologia PLC - *Power Line Communication*) (ROCKENBACH, 2004, p. 43).

As redes sem fio usam o ar como meio de transmissão. Os dados podem ser transmitidos com uso de luz infravermelha ou radiofrequência. Apresentam desvantagens por serem susceptíveis a interferência eletromagnética e por terem alcance limitado pelo local em que são instaladas (BRAGA, 2007, p. 19).

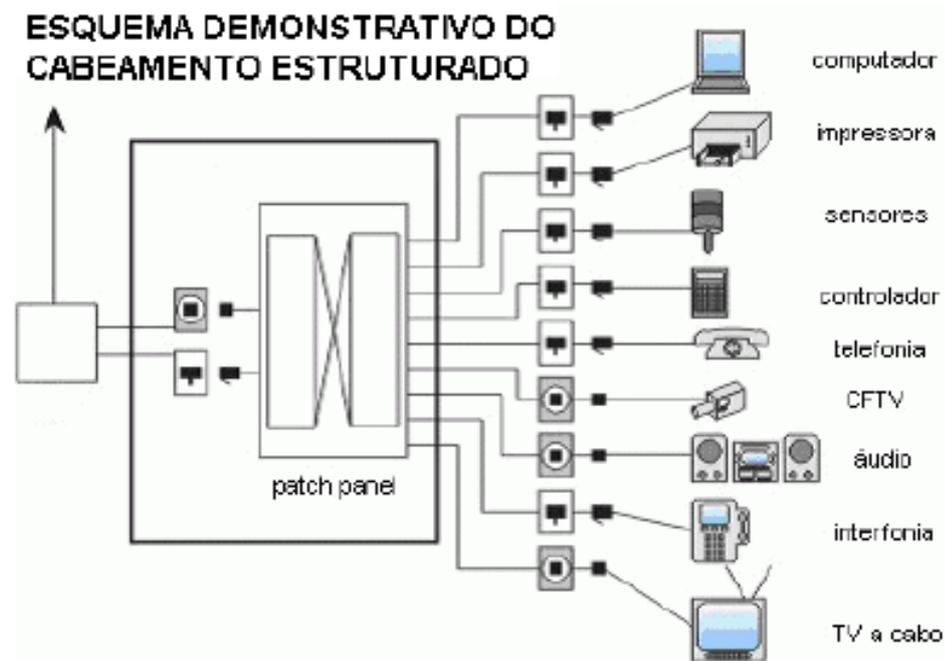
Os condutores elétricos são mais utilizados, pois possuem baixo custo e facilidade de instalação, sendo que os meios mais utilizados são os cabos coaxiais e os pares trançados, ambos capazes de transmitir sinais de dados, áudio e vídeo. A fibra óptica conduz luz infravermelha, usada para transmissão de dados em alta velocidade. As redes com fibras ópticas possuem várias vantagens como alta velocidade de transmissão de dados, confiabilidade, imunidade a interferências eletromagnéticas, etc. Possuem custo elevado, sendo indicadas para os locais onde o elevado tráfego de dados torna o seu uso economicamente viável (BRAGA, 2007, p. 18).

A escolha do meio físico a ser utilizado pela rede local deve ser baseada em normas ou padrões que especifiquem as características do cabeamento e estabeleçam um procedimento para a elaboração dos projetos. De acordo com Pinheiro (2004 apud BRAGA, 2007, p. 19), as principais normas existentes são:

- EIA/TIA 568 e 569: norma que trata sobre as características físicas dos cabos, especificando categorias de cabeamento para cabos coaxiais, par trançado e fibra óptica;
- ISO/IEC 11801: norma ISO equivalente à da EIA/TIA 568;

- NBR 14565: norma brasileira que descreve o procedimento básico para elaboração de projetos de cabeamento de telecomunicações para rede interna estruturada.

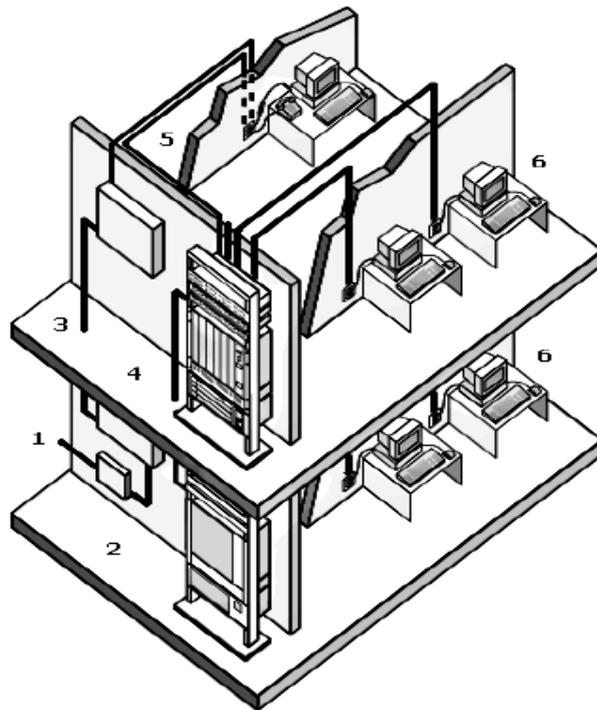
O sistema mais difundido, hoje, para novas edificações, é o cabeamento estruturado, que é o menos suscetível a interferências e que possui maior controle de qualidade através de normas (ROCKENBACH, 2004, p. 43). É utilizado para interligação de sinais elétricos de baixa intensidade, tais como transmissão de voz (telefonia), imagens (videoconferência), dados e gestão técnica dos empreendimentos (automação de sistemas de segurança patrimonial, incêndio etc.), sendo projetado de modo a prover uma infraestrutura modular, flexível e com capacidade de expansão programada (BRAGA, 2007, p. 19). A Figura 6 apresenta um esquema de cabeamento estruturado.



**Figura 6** – Cabeamento estruturado

Fonte: Gomazako, 2007, p. 61.

Conforme Braga (2007, p. 19-20), “O projeto de sistemas de cabeamento estruturado deve ser realizado de acordo com a norma EIA/TIA 568A, que orienta sua subdivisão em seis subsistemas, para os quais são determinadas especificações de instalação, desempenho e teste” (Figura 7).



**Figura 7** – Sistemas de cabeamento estruturado EIA/TIA 568

Fonte: Braga, 2007, p. 21.

Os subsistemas mostrados na Figura 7 são descritos a seguir.

- **Entrada do edifício (1)** – local onde é realizada a interface entre a rede externa e a interna.
- **Sala de equipamentos (2)** – local onde está instalado o distribuidor principal de telecomunicações, que faz a interconexão entre os equipamentos de rede e voz aos armários de telecomunicações por meio do cabeamento “backbone”.
- **Cabeamento “backbone” (3)** – é o sistema de cabeamento que interliga os armários de telecomunicações à sala de equipamentos. A arquitetura utilizada deve ser em estrela.
- **Armário de telecomunicações (4)** – serve como um centro de telecomunicações alojando as terminações dos cabos do sistema de cabeamento horizontal, os hardwares de conexão, suas armações, racks, e outros equipamentos.
- **Cabeamento horizontal (5)** – é o sistema de cabeamento que interliga os equipamentos de redes, situados no armário de telecomunicações, às

áreas de trabalho (onde estão as estações de trabalho). A topologia utilizada é em estrela, onde, cada estação de trabalho é interligada, por um único cabo dedicado ao painel de conexão instalado no armário de telecomunicações.

- **Área de trabalho (6)** – é o local onde estão situados os sistemas de trabalho, tais como computador, telefone, sistema de impressão, sistema de videoconferência e sistema de controle.

### 3.2.1.3 Protocolos de Comunicação

São conjuntos de regras que definem como será realizada a troca de informações em uma rede. É necessário que existam regras físicas e lógicas definindo como devem proceder tais trocas, devido ao alto volume de dados transferidos de um ponto a outro numa LAN. Assim, os protocolos caracterizam a qualidade com que é realizada a transmissão de dados na rede (BRAGA, 2007, p. 21). São classificados em abertos ou proprietários. Como a automação cresce no sentido da integração de sistemas autônomos, a tendência atual de mercado é a utilização de protocolos abertos baseados em padrões internacionais. Os protocolos mais utilizados em automação predial e residencial são: BACNet, EIB, LONWorks, CEBus, X-10, MODBus, PROFIBUS etc. (MONTEBELLER, 2007, p. 42).

A seguir serão descritos alguns dos protocolos de comunicação mais utilizados (BRAGA, 2007, p. 22-23; MONTEBELLER, 2006, p. 45).

- **Building Automation and Control Network (BACNet)** – protocolo aberto desenvolvido pela ASHRAE, com o objetivo de padronizar a comunicação entre os produtos de diversos fabricantes de controles, permitindo o compartilhamento de dados e a interoperabilidade dos equipamentos. Tipicamente, utilizado no monitoramento e controle de ar condicionado e ventilação, iluminação etc.
- **European Installation Bus (EIB)** – protocolo industrial inicialmente desenvolvido pela Siemens para a indústria. É um padrão proprietário, com topologia flexível que possibilita alterações nas funções desempenhadas pelos dispositivos. Utilizado em equipamentos de controle de iluminação, ar condicionado e ventilação.

- **Consumer Electronics Bus (CEBus)** – protocolo regulamentado pela EIA 600 (EIA – Electronic Insustripe Alliance), voltado especificamente para automação residencial.
- **LONWorks** – desenvolvido pela Echelon Corporation para redes interoperáveis de controle, formadas por dispositivos inteligentes conectados entre si. Todos os dispositivos conectados à rede possuem um microprocessador denominado NeuronChip, fabricado pela Toshiba e o protocolo de comunicação entre esses microprocessadores é o LONTalk.
- **X-10** – protocolo desenvolvido pela empresa escocesa Pico Eletronics Ltda. Utiliza a rede elétrica para transmitir sinais de controle modulados na frequência da corrente a seus dispositivos. Os sistemas de automação baseados neste protocolo são de baixo custo e fácil instalação, porém são susceptíveis a ruídos na rede elétrica, nos períodos de acionamento de cargas.

Uma comparação entre os protocolos de comunicação é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1** – Comparação entre protocolos considerando características de rede e de configuração

Protocolo	Nº máx. de dispositivos	Meio Físico	Configuração/expansão
X10	256	Rede elétrica	Instalar o dispositivo e ajustar endereço diretamente no mesmo
LonWorks	32385	Par trançado, cabo coaxial, RF, Power Link, infravermelho, fibra óptica, rede elétrica.	Instalar o dispositivo e configurar utilizando ferramenta de configuração
EIB	61455	Par trançado, rádio frequência, ISO/IEC 802-2, rede elétrica.	Instalar o dispositivo e configurar utilizando ferramenta de configuração
BACNet	Sem limitações*	Ethernet, ARCNET, TCP/IP (UDP), master-slave/token-passing.	(sem informação)

Fonte: Araújo e Pereira, p. 5.

\* Quanto ao endereçamento (não considera problemas na rede tais como congestionamento, jitter etc.).

Os protocolos de comunicação abertos são utilizados para integração de equipamentos de diferentes fabricantes e apresentam as seguintes vantagens (MONTEBELLER, 2007, p. 42):

- Rede compartilhada, onde sistemas de vários fabricantes podem usar os mesmos cabos de comunicação;
- Interconexão de diferentes serviços, como: iluminação, ar condicionado, etc;
- Centralização das operações;
- Facilidade de expansão da automação independentemente do fornecedor.

### 3.3 ARQUITETURA DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PREDIAL

Basicamente, um sistema de automação predial é formado pela automação individual dos seguintes subsistemas (IBAPE SP, 2009, p. 230):

1. Sistema de Ar Condicionado (chillers, termoacumulação, bombas de água gelada e condensação, atuadores, válvulas, torres de resfriamento, sensores de temperatura e pressão, variadores de frequência, compressores etc.);
2. Sistema de Ventilação/Exaustão Mecânica – ar externo, copas, subsolos etc.;
3. Sistema de Recalque de Águas (pluvial, servida e potável);
4. Gerenciamento de Energia Elétrica (demanda, fator de potência, medidores de energia elétrica etc.);
5. Sistema de Iluminação (quadrantes, zonas etc.);
6. Sistema de Grupos Geradores e No-break;
7. Sistema de Detecção de Incêndio (sensores de fumaça, gás, termovelocimétricos etc.);
8. Sistema de Combate a Incêndio;
9. Sistema de Transporte Vertical e Escadas Rolantes;
10. Sistema de Segurança Patrimonial;
11. Sistema de Controle de Acesso (portões, catracas eletrônicas etc.);

12. Sistema de Circuito Fechado de Televisão (CFTV);
13. Sistema de Sonorização.

O Sistema de Supervisão Predial permite executar a programação horária para o funcionamento de todos os subsistemas descritos, tanto no modo automático como manual. Também reconhece automaticamente datas especiais como feriados, sábados e domingos, não ativando determinados sistemas (exemplo: ar condicionado nos fins de semana). Cada um dos subsistemas citados possui recursos de automação, os quais são consolidados em uma estação central de trabalho (computador). Existe uma rede de comunicação física entre esse computador central, com uma série de controladoras distribuídas por todo o edifício, normalmente próximas de cada subsistema, e por fim, o próprio subsistema (IBAPE SP, 2009, p. 231). A seguir, alguns subsistemas serão descritos.

- **Sistema de Ar Condicionado**

Os sistemas de ar condicionado possibilitam o controle das condições de conforto ambiental (umidade, temperatura e nível de CO<sub>2</sub>), além de manter níveis seguros de contaminantes no ar interno das edificações (BRAGA, 2007, p. 27).

A automação do subsistema de ar condicionado permite ligar/desligar bombas, *fan-coils* ou equipamentos do tipo “self-contained” de acordo com uma programação horária pré-estabelecida. Pode também efetuar análises da entalpia necessária para atingir a condição de conforto pré-determinada (temperatura e umidade), através do uso otimizado do sistema de ar condicionado. Os sistemas de automação predial permitem o monitoramento instantâneo das temperaturas nos ambientes e controlam as válvulas de água gelada e os *dampers* de insuflamento e retorno do ar condicionado. Pontos pré-configurados de temperatura podem ser configurados para entrar em alarme, caso ultrapassem os limites pré-estabelecidos (IBAPE SP, 2009, p. 235).

Uma forma de tornar mais eficiente um sistema de ar condicionado refrigerado à água é o armazenamento de água gelada, prática denominada de termoacumulação (tanques de gelo). Permitindo assim, deslocar a demanda de energia do sistema nos horários de ponta de carga, reduzindo a demanda total da edificação a partir de modificações no horário em que a água for resfriada. Neste

processo, que normalmente ocorre durante a madrugada, horário em que as edificações têm uma demanda energética tipicamente reduzida, a água é resfriada e armazenada na forma de gelo em reservatórios adequados. Durante o dia, e principalmente no período do horário de ponta, somente os ventiladores de circulação de ar e as bombas de circulação de água são ativados (BRAGA, 2007, p. 28).

- **Gerenciamento de Energia Elétrica**

De acordo com Braga (2007, p. 32-33), o gerenciamento dos recursos energéticos depende de dados de medição das variadas grandezas elétricas que definem qualidade e consumo. Com esses dados, o sistema de gerenciamento deve criar formas que possibilitem o monitoramento das condições técnicas e econômicas das instalações de forma adequada. As funções principais de um sistema de gerenciamento de energia elétrica são medição global e setorial – de forma a possibilitar rateios e verificação de índices de qualidade – e o controle de variáveis elétricas, tais como potência demandada, fator de potência e outras variáveis determinantes da qualidade de energia. Normalmente, a arquitetura de um sistema de gerenciamento é composta pelos seguintes dispositivos:

- *medidores de energia* – equipamentos capazes de medir dados de consumo e qualidade de energia;
- *gerenciador de energia* – equipamento responsável pela aquisição e registro, em memória de dados, do consumo energético oriundo de medidores de energia;
- *unidades de verificação de estado* – dispositivos que fornecem ao gerenciador informações de estado (aberto/fechado) de contatos elétricos, permitindo assim um acompanhamento detalhado das condições de operação da instalação.

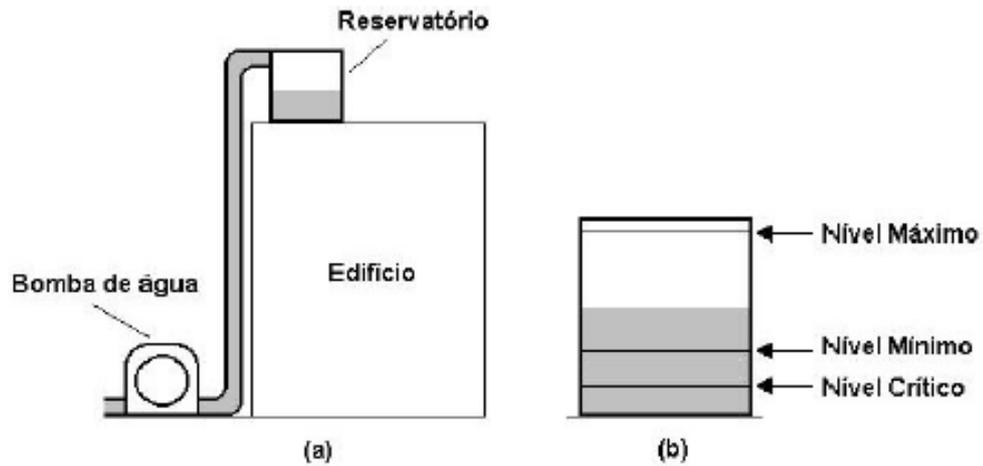
Pode-se realizar o controle da demanda de energia a partir de informações oriundos do Gerenciador de Energia. Para que isso seja viável é necessário que ações de intervenção sobre as cargas do sistema possam ser efetuadas manualmente, por meio de alarmes disparados, ou automaticamente, através de ações do sistema de controle automático do edifício. Com informações que apontem

o risco de ultrapassagem da demanda contratada, o sistema pode estabelecer o desligamento de cargas majoritárias, conforme as prioridades pré-fixadas (BRAGA, 2007, p. 33).

O Sistema de Automação Predial lida com os valores máximos determinados no Contrato firmado com a Concessionária, incluindo ou não a margem de segurança normalmente oferecida de 10% e procede ao desligamento das cargas de forma que a demanda registrada nunca ultrapasse a demanda contratada. Uma metodologia similar é utilizada para controlar o fator de potência da edificação, de modo que o mesmo esteja sempre superior a 0,92. O Controlador de Demanda, devidamente integrado ao Sistema de Automação Predial, solicita a energia elétrica complementar armazenada nos Bancos de Capacitores do tipo automático, corrigindo o sistema como um todo. O banco de capacitores fornece exatamente a quantidade de energia elétrica necessária para correção, o qual permanece em um constante “loop” de monitoramento (IBAPE SP, 2009, p. 241-242).

- **Sistema de Recalque de Águas**

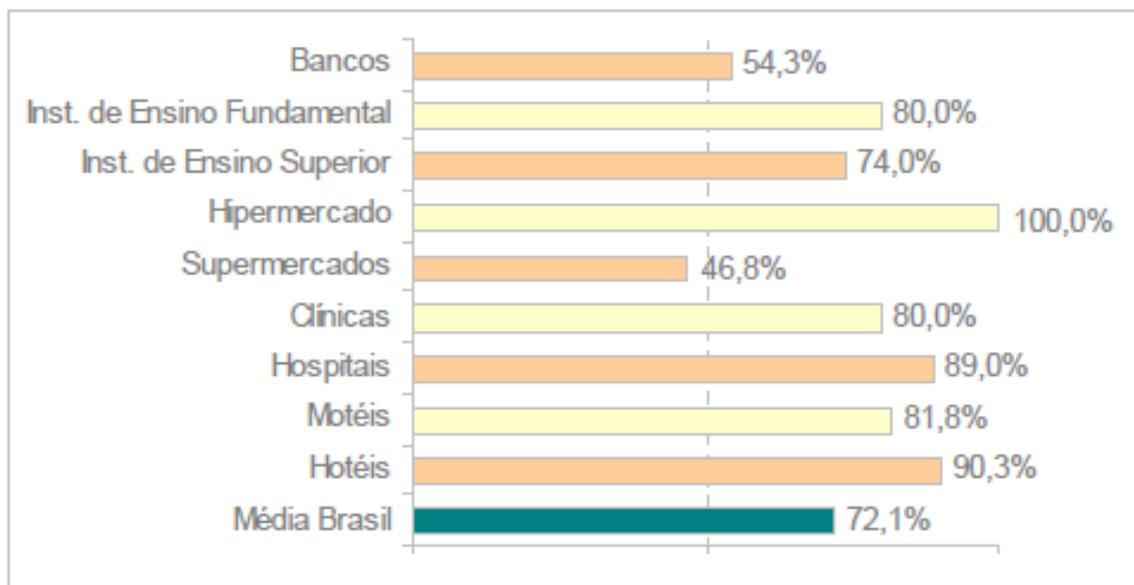
O sistema hidráulico pode ser monitorado por meio do controle do bombeamento de água, monitorando as fases e o estado da bomba (ligado/desligado) e o nível de água do reservatório de abastecimento, também controlando o número de horas de serviço, gerenciando o consumo de água da edificação. De forma que seja possível modular a demanda de energia elétrica, para o acionamento desse sistema, estabelecendo que as bombas só devam ser ligadas em determinados períodos (geralmente à noite), a menos que o nível de água do reservatório fique abaixo do nível crítico (MONTEBELLER, 2006, p. 32).



**Figura 8** – Automação do sistema hidráulico (a) e sensores de nível instalados na caixa de água (b)

Fonte: Montebeller, 2006, p. 33.

Conforme a Figura 9, observamos altos índices do uso de bombeamento de água nos setores comercial e de serviços no Brasil, resultado da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso no setor comercial AT (ELETROBRÁS, 2008, p. 80).



**Figura 9** – Sistemas de bombeamento de água dos setores comercial e de serviço

Fonte: Eletrobrás, 2008, p. 80.

- **Sistema de Iluminação**

Com o sistema de automação predial pode-se monitorar e operar o Sistema de Iluminação do edifício tanto nas áreas comuns como nas áreas privadas (IBAPE SP, 2009, p. 237).

Uma distribuição racional dos circuitos de iluminação permite acionamento independente das luminárias, proporcionando redução no consumo de energia elétrica. O projeto dos circuitos de iluminação deve contemplar zonas, com o objetivo de desligar as luminárias dos setores que possuem iluminação natural suficiente (DIDONÉ, 2009, p. 43). Muitos edifícios de escritórios possuem circuitos de iluminação divididos em vários quadrantes em cada pavimento. Assim, não é necessário permanecer com todo o andar iluminado, sendo a participação de cada usuário imprescindível no processo global de economia de recursos como energia elétrica, água etc. (IBAPE SP, 2009, p. 237).

Em edifícios comerciais e públicos, o acionamento automático da iluminação é utilizado como estratégia de impor novos hábitos de consumo, impedindo, por exemplo, que a iluminação de um ambiente específico permaneça acionada quando o mesmo é desocupado.

Os sistemas de iluminação para serem controlados de forma automática devem ser integrados a sensores, de presença e de luminosidade, e a atuadores, como minuteiras e interruptores de cartão (BRAGA, 2007, p. 24).

O dispositivo mais utilizado para seu controle é o sensor de presença. Sua popularidade é devida principalmente ao fato de proporcionarem economias significativas no consumo de energia elétrica. A Tabela 2 apresenta potenciais de economia de até 75%.

**Tabela 2** – Potencial de redução do consumo de energia com o uso de sensores de presença

<b>Aplicação</b>	<b>Potencial de Economia (%)</b>
Escritórios	20 - 50
Banheiros	30 - 75
Corredores	30 - 40
Áreas de estoque	45 - 65
Salas de reuniões	45 - 65
Salas de conferências	45 - 65
Depósitos	50 - 75

Fonte: Alvarez, 1998 apud Braga, 2007, p. 25.

Basicamente, existem três tipos de sensor de presença: os sensíveis a radiação infravermelha que detectam fontes de calor; os sensíveis ao ultrassom que detectam deslocamentos de ar, e aqueles que usam ambas as tecnologias. Ao detectar o movimento, o sensor envia um sinal elétrico indicando esta ocorrência. Esta informação pode ser utilizada como o único fator determinante ao acionamento do sistema de iluminação. Caso sejam programadas lógicas mais sofisticadas, esta informação poderá ser utilizada apenas como um dos dados de entrada, não ocorrendo necessariamente o acionamento do sistema (BRAGA, 2007, p. 25). Os sistemas que possuem controle fotoelétrico identificam a presença da luz natural, diminuindo ou até mesmo bloqueando a luz artificial de forma automática (*dimmers*) (DIDONÉ, 2009, p. 43).

Já as minuteiras são interruptores temporizados. Quando ativada, o respectivo circuito de iluminação é acionado por um período de tempo programável pré-fixado e em seguida é desligado. Os interruptores a cartão são formados por um interruptor microprocessado e um cartão, que ao ser inserido no interruptor, envia ao controlador um comando de entrada que habilita o circuito controlado por este dispositivo, sendo desenvolvidos especificamente para o controle e uso racional do consumo de energia (BRAGA, 2007, p. 26). E os sistemas de programação do tempo gerenciam o ligar/desligar dos sistemas de iluminação das edificações, desligando ou diminuindo a luz durante os horários sem ocupação ou com atividades que necessitem menor nível de iluminação (DIDONÉ, 2009, p. 43). Conforme Myres (1996 apud BRAGA, 2007, p. 26) a utilização destes dispositivos viabiliza o consumo moderado de energia elétrica, ao cruzar os dados provenientes dos mesmos com as regras de uso pré-determinadas pelos gestores do edifício.

Outra forma de reduzir o consumo com iluminação é o aproveitamento da luz natural, juntamente com o uso da iluminação artificial como fonte complementar de luminosidade e não como principal. A integração entre a luz natural e artificial pode ser feita de forma parcial, utilizando a luz artificial sempre que a luminosidade natural for inferior a um determinado nível, ou total, complementando a luz natural para que seja atingido o nível de luminosidade necessário. Na forma parcial, o sistema de controle monitora a luminosidade solar através de uma fotocélula, onde o valor medido é comparado a um valor de referência. O aproveitamento total da luz natural torna-se viável através da utilização de reatores eletrônicos dimerizáveis. Tais reatores permitem variar o fluxo luminoso das luminárias de modo que quanto maior

o nível de luz natural incidente no ambiente, menor o uso da iluminação artificial (BRAGA, 2007, p. 27).

O uso apropriado de controles no sistema de iluminação é essencial para uma real contribuição da luz natural, minimizando assim o gasto com a iluminação artificial. A ASHRAE (2008 apud DIDONÉ, 2009, p. 43) recomenda que sensores sejam conectados automaticamente em escritórios de planta livre; já em escritórios privados, a recomendação é utilizar sensores infravermelhos e interruptores pré-ajustados em acionamento manual e automático.

- **Detecção e Combate a Incêndio**

Os edifícios modernos possuem sistema de detecção e combate a incêndio monitorado e operado pelo Sistema de Supervisão Predial. Desta forma, todos os pavimentos do prédio possuem dispositivos de detecção de fumaça, podendo ser endereçáveis; ou seja, o Sistema de Alarme de Incêndio, por intermédio da integração com o Sistema de Automação Predial, pode apresentar graficamente na tela do sistema a localização exata do sensor que alarmou. Os demais tipos de sensores também possuem essa tecnologia. Detectores de gás e detectores termovelocimétricos são normalmente instalados em copas ou cozinhas; botoeiras de emergência, sirenes (sonoro e visual), assim como toda a rede de *sprinklers* pressurizada também pode ser monitorada pelo Sistema de Automação Predial (IBAPE SP, 2009, p. 238-239).

O sistema de detecção e combate a incêndio é composto por centrais e repetidoras (controladores microprocessados) interligadas, onde os detectores (sensores) e acionadores manuais ou automáticos estão conectados a esses controladores (MONTEBELLER, 2006, p. 33). A central recebe e envia dados aos controladores microprocessados, que estão conectados a todos os sensores e atuadores. De preferência, os dados e as ações provenientes deste sistema, devem estar integrados, via rede, aos demais subsistemas, provendo informação de suas ações de emergência à supervisão da edificação e permitindo outras ações consequentes nestes subsistemas. A detecção automática de incêndio pode ser realizada por sensores de temperatura, térmicos ou termovelocimétricos, e de fumaça. Os sensores de temperatura do tipo térmico detectam calor, possuem uma lâmina bimetálica que, ao atingir uma temperatura crítica comuta um contato. Os

detectores de fumaça reconhecem a presença de partículas ou fuligem no ar. Já os sensores termovelocimétricos detectam variação de temperatura, possuem dois termistores que, na ocorrência de um incêndio, registram temperaturas distintas, levando o detector ao estado de alarme. Também devem existir acionadores manuais, instalados de maneira distribuída na instalação, que ao serem acionados, comuniquem seu estado (BRAGA, 2007, p. 28-29).

A central de comando deve monitorar continuamente os estados de todos os sinais delatores de incêndio e o nível da caixa de água de suprimento dos difusores ou *sprinklers*. (BRAGA, 2007, p. 29). Através da monitoração de chaves de fluxo na rede de *sprinklers* é possível detectar o consumo de água nesta rede. Outras formas são a supervisão e controle sobre as bombas *jokey* (secundária de incêndio) e a bomba de hidrantes (principal) (MONTEBELLER, 2006, p. 34).

- **Sistema de Transporte Vertical**

Os elevadores mais utilizados no Brasil obedecem aos princípios de Arquimedes, subindo ou descendo suspensos por roldanas e contrapesos ou conforme as leis de multiplicação das forças hidráulicas por pistões e cilindros. Conforme o tipo de controle dos sistemas pode ser dividido em dois grupos: os de controle de lógica, segurança e sinalização e os de controle de movimento/acionamento. Os primeiros funcionam como cérebro do elevador e se encarregam de definir e coordenar a estratégia do elevador; já os de controle de movimento/acionamento determinam a dinâmica do elevador e são responsáveis pelo acionamento da máquina de tração. Atualmente, todos os controles de lógica, segurança e sinalização são realizados por microcontroladores de alto desempenho, agrupados em um CLP dedicado, situado na casa de máquinas do elevador, podendo formar tanto um sistema centralizado como um sistema modular de arquitetura distribuída. O sistema fica trabalhando em rede, podendo executar diversas funções de lógica (NEVES, 2002, p. 113).

A automação do sistema melhora o atendimento oferecido aos usuários e aumenta a eficiência energética do equipamento. Ou seja, a diminuição de deslocamento dos carros diminui o consumo de energia. Isso pode ser feito com elevadores que atendem a determinados pavimentos, que evitam ir a andares se há outro equipamento mais próximo (controle de tráfego).

A automação desse sistema pode também eliminar partidas simultâneas dos atuadores, reduzir os tempos de viagem, reduzir o número de paradas desnecessárias, desligar as luzes da cabina e o ventilador. Alguns elevadores podem ser desativados em caso de baixo tráfego e na ausência de energia elétrica, o sistema pode acionar os geradores e entrar em modo de operação de emergência, deslocando todos os elevadores até um andar pré-determinado (GUSTIN, 1999 apud SILVA, 2006, p. 39).

### 3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A automação permite monitorar permanentemente o consumo da edificação e realizar a gestão energética da instalação de maneira integrada e, ainda, disponibiliza e impõe novos hábitos de consumo aos seus usuários.

As técnicas para se automatizar os variados sistemas de uma edificação são diversificadas, vão desde as mais simples, como o uso de sensores de presença para acionar lâmpadas, aos sistemas mais elaborados e integrados, que interceptam dados de vários sensores, para então tomar uma decisão (agir). A escolha técnica e a tecnologia mais apropriada a ser empregada dependem do tipo da edificação e da estratégia de controle que se deseja implantar.

Com a automação de uma edificação torna-se possível determinar a forma como os variados equipamentos existentes serão utilizados, garantindo que o consumo de energia seja realizado de forma racional. Podendo também fornecer informações relevantes a respeito da dinâmica de consumo e da demanda de energia dos diversos sistemas.

Sendo assim, propõe-se que o controle automático dos diversos sistemas prediais apresentados seja integrado a proposta do regulamento do RTQ-C, contribuindo assim para o uso racional de energia elétrica.

## CAPÍTULO 4 - REGULAMENTAÇÕES SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Neste capítulo é apresentado o Regulamento para Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) das edificações brasileiras. Aborda-se também, de forma mais detalhada a norma *Standard 90.1* utilizada nos EUA.

### 4.1 PROPOSTA DA REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA

A regulamentação para etiquetagem de nível de eficiência de edifícios especifica os requisitos técnicos, bem como os métodos para classificação de edifícios comerciais, de serviço e públicos quanto à eficiência energética, sendo formada por um conjunto de quatro volumes: v. 1 - Etiquetagem de eficiência energética de edificações; v. 2 - Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C); v. 3 - Regulamento de Avaliação da Conformidade (RAC-C), e v. 4 - Manual de Aplicação dos Requisitos Técnicos da Qualidade (RTQ-C) e Regulamento de Avaliação da Conformidade (RAC-C), conforme Figura 10.



**Figura 10** – Conjunto de publicações para avaliação da eficiência energética de edificações  
Fonte: Etiquetagem..., 2009, p. 6.

O RTQ-C está dividido em cinco capítulos, onde são abordados definições, símbolos e unidades, objetivo e pré-requisitos gerais inicialmente. No capítulo 3 é

abordado a envoltória, com enfoque na transmitância térmica (U), cores e absorvância. Seu cálculo de desempenho utiliza uma equação para obtenção de um índice de consumo, que varia conforme uma das oito zonas climáticas em que o país está dividido. Essa equação foi desenvolvida a partir de simulações computacionais utilizando-se técnicas de regressão. O capítulo 4 trata do sistema de iluminação, abordando eficiência de sistemas e controles e cálculos de densidade de potência de iluminação (DPI). No quinto capítulo é abordado o sistema condicionamento de ar, onde são determinados eficiência mínimas de equipamentos e sistemas de condicionadores de ar, de acordo com a classificação desejada e especifica também características que devem ser observadas em cada zona térmica. E o sexto capítulo apresenta a avaliação de desempenho através de simulação computacional de edifícios condicionados artificialmente ou naturalmente ventilados.

A adesão aos requisitos é voluntária e aplica-se a edificações novas e existentes, com área útil total superior a 500 m<sup>2</sup> ou atendidos por alta tensão ( $\geq 2,3$  kV), incluindo edifícios condicionados, parcialmente condicionados e não condicionados. Classifica a eficiência da edificação em cinco níveis, de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). A etiquetagem de eficiência energética de edifícios deve ser realização por meio dos métodos prescritivo ou de simulação. O RTQ-C especifica a classificação do nível de eficiência através da determinação da eficiência de três sistemas individuais: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. Todos os sistemas têm níveis de eficiência que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) (INMETRO, 2010, p. 13). Os três itens mais bonificações, são reunidos em uma equação geral de classificação do nível de eficiência do edifício.

A classificação geral poderá ser obtida após a avaliação parcial dos três sistemas, resultando em uma classificação final. Pesos são atribuídos para cada quesito, e conforme a pontuação final obtém-se uma classificação geral que também varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Os pesos são distribuídos da seguinte forma (INMETRO, 2010, p. 15):

- envoltória (Env): 30%;
- sistema de Iluminação: 30%;
- sistema de condicionamento de ar (CA): 40%.

A avaliação de cada sistema individual utiliza equivalentes numéricos, um número de pontos correspondente à determinada eficiência, atribuídos de acordo com a Tabela 3.

**Tabela 3** – Equivalente numérico para cada nível de eficiência

Nível de Eficiência	EqNum
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Fonte: INMETRO, 2010, p. 15.

Assim, a classificação geral do edifício é calculada conforme a distribuição dos pesos por meio da Equação 1 (INMETRO, 2010, p. 16).

$$PT = 0,30 \left\{ \left( EqNumEnv \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left( \frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + 0,30 \cdot EqNumDPI \\ + 0,40 \left\{ \left( EqNumCA \cdot \frac{AC}{AU} \right) + \left( \frac{APT}{AU} \cdot 5 + \frac{ANC}{AU} \cdot EqNumV \right) \right\} + b_0^1$$

(Eq. 1)

Onde:

EqNumEnv - equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI - equivalente numérico do sistema de iluminação, identificado pela sigla DPI, de densidade de potência de iluminação;

EqNumCA - equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;

EqNumV - equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente;

APT - área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;

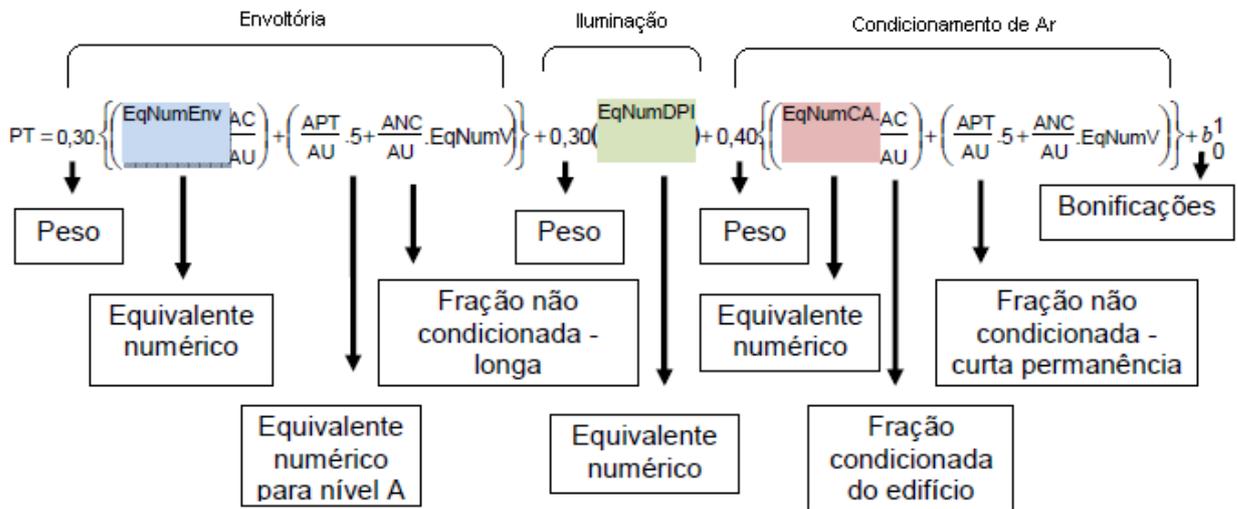
ANC - área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de % de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método da simulação;

AC - área útil dos ambientes condicionados;

AU - área útil;

b - pontuação obtida pelas bonificações, que varia de 0 a 1.

De forma mais clara:



**Figura 11** – Variáveis da equação geral

Fonte: Manual..., 2010 p. 69.

O número de pontos obtidos na Equação 1 definirá a classificação geral da edificação, conforme Tabela 4.

**Tabela 4** – Classificação geral da edificação

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

Fonte: INMETRO, 2010, p.17.

### Pré-requisitos Gerais

Para o edifício ser elegível à etiquetagem, requisitos mínimos relativos a circuitos elétricos, aquecimento de água e elevadores devem ser satisfeitos. Os pré-requisitos gerais são necessários para a obtenção da classificação geral do nível de eficiência do edifício. O não atendimento não impede as classificações parciais, porém impossibilita a obtenção de uma etiqueta completa de nível de eficiência A, B

ou C, ou seja, o edifício terá eficiência D na classificação geral mesmo que as etiquetas parciais indiquem nível de eficiência A (INMETRO, 2010, p. 17).

#### ❖ **Circuitos elétricos**

##### • **Níveis A e B**

Este item exige que o circuito elétrico seja projetado separadamente de forma a possibilitar medições quando necessário ou que possibilite que o edifício possua, instalado equipamentos que possam permitir tal medição. Essas medições poderão auxiliar no diagnóstico do consumo de energia facilitando o comissionamento ao indicar onde e em que horas se consome mais e, conseqüentemente, em que tipo de uso deve-se investir para elevar ainda mais a eficiência energética do edifício quando em uso (INMETRO, 2010, p. 17).

São exceções:

- hotéis, desde que possuam desligamento automático para os quartos;
- edificações com múltiplas unidades autônomas de consumo;
- edificações cuja data de construção seja anterior a junho de 2009.

#### ❖ **Aquecimento de água**

As edificações com elevada demanda de água quente como academias, clubes, hospitais, restaurantes, edifícios destinados à hospedagem ou edifícios em que a parcela de água quente represente um percentual  $\geq 10\%$  do consumo de energia, devem realizar estimativa da demanda de água quente (INMETRO, 2010, p.17-20).

##### • **Nível A**

Deve-se comprovar que 100% da demanda de água quente é fornecida por um ou mais dos sistemas, descritos a seguir, e satisfazer as condições de isolamento das tubulações:

- i) Sistema de aquecimento solar (coletores solares devem possuir ENCE A ou B, os reservatórios devem possuir selo PROCEL etc.);

- ii) Aquecedores a gás do tipo instantâneo (devem possuir etiqueta com classificação A etc.);
- iii) Sistemas de aquecimento de água por bombas de calor (as bombas de calor devem possuir  $COP \geq 3,0$  W/W etc.);
- iv) Caldeiras a gás (aquecedor de acumulação a gás com capacidade  $>22,98$  kW, eficiência mínima de 80% etc.).

- **Nível B**

Deve-se comprovar que um percentual  $\geq 70\%$  da demanda de água quente é atendida por um ou mais dos sistemas descritos a seguir, e satisfazer as condições de isolamento das tubulações.

- i) Sistema de aquecimento solar (coletores solares devem possuir ENCE A ou B, os reservatórios devem possuir selo PROCEL etc.);
- ii) Aquecedores a gás do tipo instantâneo (devem possuir etiqueta com classificação A etc.);
- iii) Sistemas de aquecimento de água por bombas de calor (as bombas de calor devem possuir  $COP \geq 2,0$  W/W etc.).

- **Nível C**

Edifícios com sistemas de aquecimento solar e a gás que atendam menos de 70% da demanda de água quente e sejam complementados por sistemas elétricos; e edifícios que possuam apenas aquecimento elétrico da água atingirão no máximo nível C, desde que satisfaçam os seguintes pré-requisitos:

- i) Aquecedores elétricos de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas (possuir eficiência energética maior que 95%, potência  $\leq 4.600$  W etc.);
- ii) Aquecedores elétricos de hidromassagem (possuir eficiência energética maior que 95%, potência  $\leq 5.000$  W etc.);
- iii) Aquecedores elétricos por acumulação - Boiler (devem possuir etiqueta com classificação A, conforme regulamento específico do PBE/Inmetro).

## ❖ Elevadores

### • Nível A

Os edifícios construídos após a publicação do RTQ (2010) devem possuir acionamento micro processado com inversor de frequência e frenagem regenerativa, e máquinas sem engrenagem (*gearless*). E os já existentes devem utilizar acionamento com inversor de frequência.

### • Nível B

Edifícios construídos após a publicação do RTQ (2010) devem possuir acionamento microprocessado com inversor de frequência.

## ❖ Bonificações

As iniciativas que aumentem a eficiência da edificação poderão receber até um ponto na classificação geral. Estas iniciativas deverão ser justificadas e a economia comprovada. São exemplos dessas iniciativas: sistemas e equipamentos que racionalizem o uso da água; sistemas ou fontes renováveis de energia; sistemas de cogeração e inovações tecnológicas que comprovadamente aumentem a eficiência energética da edificação (INMETRO, 2010, p. 22).

### 4.1.1 Envoltória

É o conjunto de elementos do edifício que estão em contato com o meio exterior e compõem os fechamentos dos ambientes internos em relação ao ambiente externo. Pode ser entendida como a “pele” do edifício (MANUAL..., 2010, p. 36).

Sua classificação faz-se mediante a determinação de um conjunto de indicadores referentes às características físicas do edifício. Componentes opacos e dispositivos de iluminação zenital são definidos em pré-requisitos, e as aberturas verticais são avaliadas por meio de equações. Estes itens compõem a “pele” da edificação (cobertura, fachada e aberturas) e são complementados pelo volume, pela área de piso do edifício e pela orientação das fachadas (MANUAL..., 2010, p. 8).

**Tabela 5** – Pré-requisitos específicos do RTQ-C

<b>Pré-requisito</b>	<b>Nível A</b>	<b>Nível B</b>	<b>Níveis C e D</b>
Transmitância térmica da cobertura e paredes exteriores	Sim	Sim	Sim
Cores e absorvância de superfícies	Sim	Sim	
Iluminação zenital	Sim	Sim	

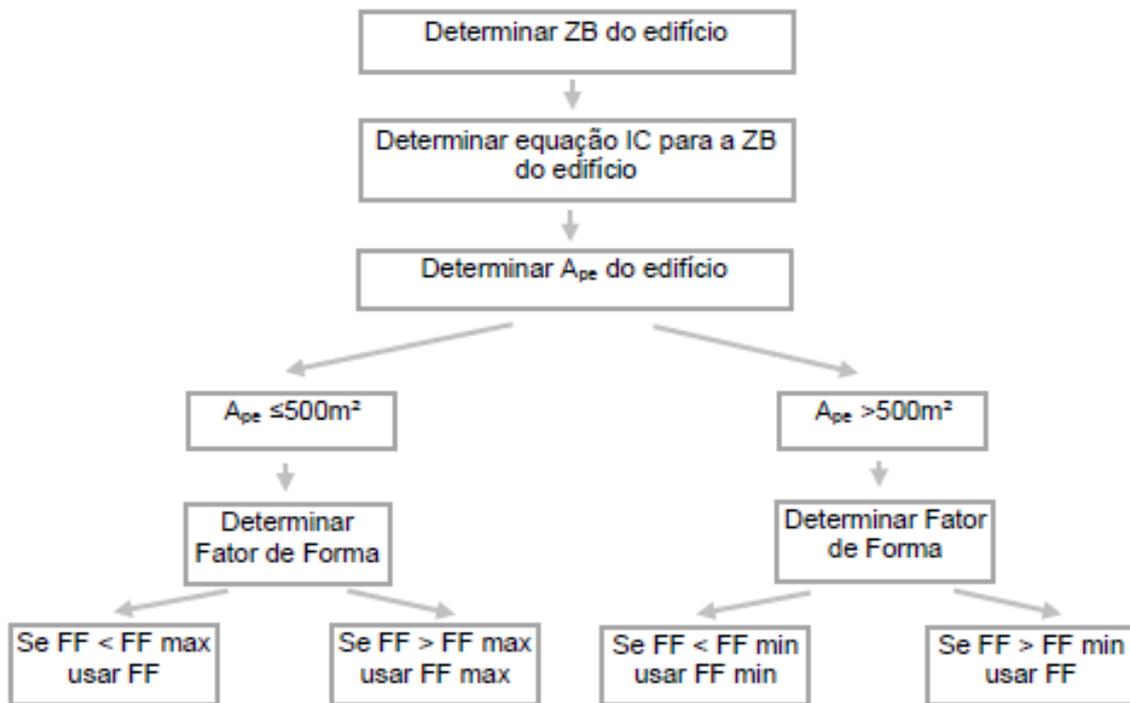
Fonte: INMETRO, 2010, adaptado pela autora.

O método de classificação de eficiência da envoltória é baseado em um indicador de consumo (IC) obtido por meio de uma equação. Foram desenvolvidas duas equações por zona bioclimática: uma representando edifícios com área de projeção ( $A_{pe}$ ) menor que  $500 \text{ m}^2$  e outra para edifícios com área de projeção maior que  $500 \text{ m}^2$  (INMETRO, 2010, p. 31).

Para o cálculo do indicador de consumo é necessário conhecer:

1. zoneamento bioclimático brasileiro, dado na NBR 15220-3 (ABNT, 2005b);
2. dimensões da edificação;
3. área das janelas;
4. existência e dimensão das proteções solares;
5. tipo de vidro.

O indicador de consumo referente à envoltória do edifício proposto ( $IC_{env}$ ) deve ser calculado com as diferentes equações conforme a cidade e a zona bioclimática (ZB) onde o edifício está localizado. As equações para  $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$  são válidas para um fator de forma mínimo permitido ( $A_{env}/V_{tot}$ ). As equações para  $A_{pe} < 500 \text{ m}^2$  são válidas para um fator de forma máximo permitido ( $A_{env}/V_{tot}$ ). Acima ou abaixo destes, deve-se utilizar os valores limites (INMETRO, 2010, p. 31).



**Figura 12** – Fluxograma de escolha da equação do IC

Fonte: Manual..., 2010 p. 88.

Posteriormente, é calculado o IC, determinando os valores de cada variável abaixo:

---

**$A_{pe}$ :** Área de projeção do edifício ( $m^2$ );

---

**$A_{tot}$ :** Área total de piso ( $m^2$ );

---

**$A_{env}$ :** Área da envoltória ( $m^2$ );

---

**AVS:** Ângulo vertical de sombreamento, entre 0 e  $45^\circ$  (graus);

---

**AHS:** Ângulo horizontal de sombreamento, entre 0 e  $45^\circ$  (graus);

---

**FF:** ( $A_{env}/V_{tot}$ ), Fator de forma;

---

**FA:** ( $A_{pcob}/A_{tot}$ ), Fator altura;

---

**FS:** Fator solar;

---

**PAF<sub>T</sub>:** Percentual de abertura na fachada total (adimensional, para uso na equação);

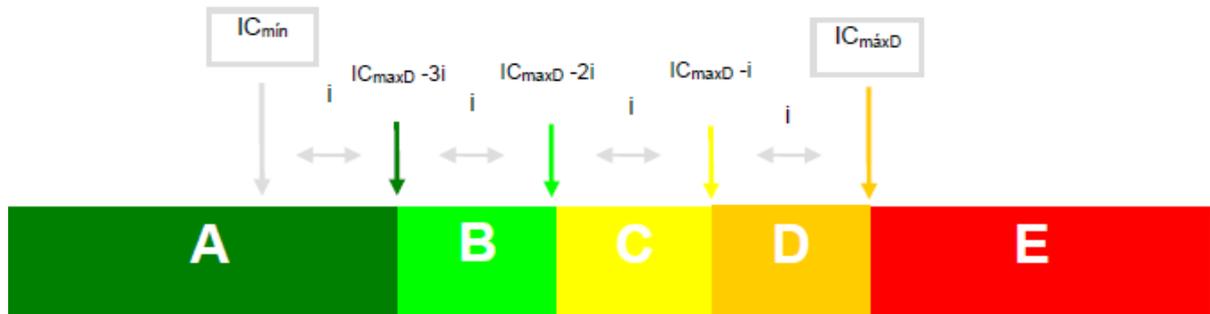
---

**$V_{tot}$ :** Volume total da edificação ( $m^3$ ).

---

Após o cálculo das variáveis citadas anteriormente, é feita a posterior substituição na equação apropriada por zona bioclimática. 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 conforme apresentado na Figura 13.



**Figura 13** – Ilustração do cálculo de IC

Fonte: Manual..., 2010, p. 34

A escala numérica da classificação de eficiência é variável, e deve ser determinada para cada volumetria de edifício por meio dos seguintes parâmetros (INMETRO, 2010, p. 34):

- *fator altura* – razão da área de projeção da cobertura pela área total de piso ( $A_{pcob}/A_{tot}$ );
- *fator forma* – razão da área da envoltória pelo volume total ( $A_{env}/V_{tot}$ ). Os demais parâmetros da equação são fornecidos.

Quanto menor o IC obtido, mais eficiente será a envoltória. A determinação dos limites de eficiência da envoltória é realizada através dos  $IC_{máxD}$  e  $IC_{mín}$ .

**Tabela 6** – Parâmetros do  $IC_{máxD}$

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

Fonte: INMETRO, 2010, p. 35.

**Tabela 7** – Parâmetros do  $IC_{mín}$

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

Fonte: INMETRO, 2010, p. 35.

Estes limites representam o intervalo no qual a edificação proposta deve estar inserida. A subdivisão  $i$  do intervalo é calculada por meio da Equação 2.

$$i = \left( \frac{IC_{\text{máxD}} - IC_{\text{mín}}}{4} \right) \quad (\text{Eq. 2})$$

Com o valor de  $i$  calculado, preenche-se a Tabela 8 e, então, compara-se o  $IC_{\text{env}}$  obtido com os limites da tabela abaixo, identificando o nível de eficiência do projeto em questão.

**Tabela 8** – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Lim Mín	-	$IC_{\text{máxD}} - 3i + 0,01$	$IC_{\text{máxD}} - 2i + 0,01$	$IC_{\text{máxD}} - i + 0,01$	$IC_{\text{máxD}} + 0,01$
Lim Máx	$IC_{\text{máxD}} - 3i$	$IC_{\text{máxD}} - 2i$	$IC_{\text{máxD}} - i$	$IC_{\text{máxD}}$	-

Fonte: INMETRO, 2010, p. 35.

O cálculo do indicador de consumo (IC) visa prever como a envoltória de um edifício irá impactar o seu consumo de energia.

#### 4.1.2 Sistema de Iluminação

Este item estabelece o limite de potência de iluminação interna para espaços internos da edificação. Os níveis de eficiência para a potência de iluminação variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Deve ser avaliado através do: Método da área do edifício ou Método das atividades do edifício (INMETRO, 2010, p. 38-39).

- **Método da área do edifício**

Este método avalia de forma conjunta todos os ambientes do edifício, definindo um único valor limite para a avaliação do sistema de iluminação. Aplica-se a edifícios com até três atividades principais ou para atividades que ocupem mais de 30% da área do edifício. Edifícios que possuem mais de três atividades principais devem ser avaliados pelo método das atividades (INMETRO, 2010, p. 40).

Durante a avaliação os seguintes passos devem ser seguidos (INMETRO, 2010, p. 40-41):

- a. Identificar a atividade principal do edifício, conforme a Tabela 9, e a densidade de potência de iluminação limite ( $DPI_L - W/m^2$ ) para cada nível de eficiência;
- b. Determinar a área iluminada do edifício;
- c. Multiplicar a área iluminada pela  $DPI_L$  para encontrar a potência limite do edifício;
- d. Quando o edifício for caracterizado por até três atividades principais, determina-se a densidade de potência de iluminação limite ( $DPI_L$ ) para cada atividade e a área iluminada para cada uma. A potência limite para o edifício será a soma das potências limites para cada atividade do edifício; (Obs.: A verificação do nível de eficiência será feita através da potência total instalada no edifício, e não por atividade).
- e. Comparar a potência total instalada no edifício e a potência limite para determinar o nível de eficiência do sistema de iluminação;
- f. Após determinar o nível de eficiência alcançado pelo edifício, deve-se verificar o atendimento dos pré-requisitos em todos os ambientes;
- g. Caso existam ambientes que não satisfaçam os pré-requisitos, o EqNum deverá ser corrigido através da ponderação entre os níveis de eficiência e potência instalada dos ambientes que não atenderam aos pré-requisitos e a potência instalada e o nível de eficiência encontrado para o sistema de iluminação.

**Tabela 9** – Limite máximo aceitável de  $DPI_L$  para o nível de eficiência pretendido – Método da Área do Edifício

Função do edifício	Densidade de potência de iluminação limite (W/m <sup>2</sup> )	Densidade de potência de iluminação limite (W/m <sup>2</sup> )	Densidade de potência de iluminação limite (W/m <sup>2</sup> )	Densidade de potência de iluminação limite (W/m <sup>2</sup> )
	Nível A	Nível B	Nível C	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
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
Garagem - Edifício				
Garagem	2,7	3,1	3,5	3,9
Ginásio	10,8	12,4	14	15,7
Hospedagem, Dormitório	6,6	7,6	8,6	9,6
Hospital	13	15	16,9	18,9
Hotel	10,8	12,4	14	15,7
Igreja/Templo	11,3	13	14,7	16,4
Restaurante	9,6	11	12,5	13,9
Restaurante: Bar/Lazer	10,7	12,3	13,9	15,5
Restaurante: <i>Fast-food</i>	9,7	11,2	12,6	14,1
Museu	11,4	13,1	14,8	16,5
Oficina	12,9	14,8	16,8	18,7
Penitenciária	10,4	12	13,5	15,1
Posto de Saúde/Clinica	9,4	10,8	12,2	13,6
Posto Policial	10,3	11,8	13,4	14,9
Prefeitura - Inst. Gov.	9,9	11,4	12,9	14,4
Teatro	15	17,3	19,5	21,8
Transportes	8,3	9,5	10,8	12
Tribunal	11,3	13	14,7	16,4

Fonte: INMETRO, 2010, p. 42.

- **Método das atividades do edifício**

Avalia separadamente os ambientes do edifício e deve ser utilizado para edifícios em que o método anterior não é aplicável. Para a avaliação deve-se seguir as etapas abaixo (INMETRO, 2010, p. 43):

- Identificar de forma adequada as atividades encontradas no edifício, conforme a Tabela 10;
- Consultar a densidade de potência de iluminação limite ( $DPI_L - W/m^2$ ) para cada nível de eficiência para cada uma das atividades, na Tabela 10;  
Obs.: Para atividades não listadas deve-se escolher uma atividade equivalente.
- Multiplicar a área iluminada de cada atividade pela  $DPI_L$ , para encontrar a potência limite para cada atividade. A potência limite para o edifício será a soma das potências limites das atividades;
- Calcular a potência instalada no edifício e compará-la com a potência limite, identificando o EqNum do sistema de iluminação;
- Caso existam ambientes que não satisfaçam os pré-requisitos, o EqNum deverá ser corrigido através da ponderação entre os níveis de eficiência e potência instalada dos ambientes que não atenderam aos pré-requisitos e a potência instalada e o nível de eficiência encontrado para o sistema de iluminação.

Obs.: Opcionalmente, ambientes que possuam o índice de ambiente ( $K$ ) menor que o definido na Tabela 10, ou *Room Cavity Ratio* (RCR) maior que o da Tabela 10 podem ter um aumento em 20% na densidade de potência de iluminação limite ( $DPI_L$ ). Este aumento de potência poderá ser usado apenas por este ambiente, que deve ser avaliado individualmente, não sendo computado na potência limite para o edifício.

$$K = \frac{A_t + A_{pt}}{A_p} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

$K$ : índice de ambiente (adimensional);

$A_t$ : área de teto ( $m^2$ );

$A_{pt}$ : área do plano de trabalho (m<sup>2</sup>);

$A_p$ : área de parede entre o plano iluminante e plano de trabalho (m<sup>2</sup>).

$$RCR = \frac{2,5 \cdot H_p \cdot P}{A} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

$RCR$ : *Room Cavity Ratio* (adimensional);

$H_p$ : altura de parede, considerar altura entre o plano iluminante e o plano de trabalho (m<sup>2</sup>);

$P$ : perímetro do ambiente (m<sup>2</sup>);

$A$ : área do ambiente (m<sup>2</sup>).

Quando existirem ambientes que utilizem este recurso ( $K/RCR$ ), o EqNum será encontrado por meio da ponderação dos equivalentes numéricos destes ambientes e do edifício por suas potências.

**Tabela 10** – Limite máximo aceitável de  $DPI_L$  para o nível de eficiência pretendido - Método das Atividades do Edifício

(Continua)

Ambientes / Atividades	Limite do ambiente		$DPI_L$ (W/m <sup>2</sup> )	$DPI_L$ (W/m <sup>2</sup> )	$DPI_L$ (W/m <sup>2</sup> )	$DPI_L$ (W/m <sup>2</sup> )
	K	RCR	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Armazém, Atacado						
Material pequeno/leve	0,8	6	10,2	12,24	14,28	16,32
Material médio/volumoso	1,2	4	5	6	7	8
Átrio - por metro de altura						
até 12,2 m de altura			0,3 <sup>1</sup>	0,36 <sup>1</sup>	0,42 <sup>1</sup>	0,48 <sup>1</sup>
acima de 12,2 m de altura			0,2 <sup>1</sup>	0,24 <sup>1</sup>	0,28 <sup>1</sup>	0,32 <sup>1</sup>
Auditórios e Anfiteatros						
Auditórios	0,8	6	8,5	10,2	11,9	13,6
Centro de Convenções	1,2	4	8,8	10,56	12,32	14,08
Cinema	1,2	4	5	6	7	8
Teatro	0,6	8	26,2	31,44	36,68	41,92
Banco/Escritório - Área de atividades bancárias	0,8	6	14,9	17,88	20,86	23,84
Banheiros	0,6	8	5	6	7	8
Biblioteca						
Área de arquivamento	1,2	4	7,8	9,6	10,92	12,48
Área de leitura	1,2	4	10	12	14	16
Área de estantes	1,2	4	18,4	22,08	25,76	29,44
Casa de Máquinas	0,8	6	6	7,2	8,4	9,6
Centro de Convenções - Espaço de exposições	1,2	6	15,6	18,72	21,84	24,96
Circulação		< 2,4 largura	7,1	8,52	9,94	11,36
Comércio						
Área de vendas	0,8	6	18,1	21,72	25,34	28,96
Pátio de área comercial	1,2	4	11,8	14,16	16,52	18,88
Provador	0,6	8	10,2	12,24	14,28	16,32
Cozinhas	0,8	6	10,7	12,84	14,98	17,12
Depósitos	0,8	6	5	6	7	8
Dormitórios - Alojamentos	0,6	8	4,1	4,92	5,74	6,56
Escadas	0,6	10	7,4	8,88	10,36	11,84
Escritório	0,6	8	11,9	14,28	16,66	19,04
Escritório - Planta livre	1,2	4	10,5	12,6	14,7	16,8
Garagem	1,2	4	2	2,4	2,8	3,2

(Continuação)

Ambientes / Atividades	Limite do ambiente		DPI <sub>L</sub> (W/m <sup>2</sup> )			
	K	RCR	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
<b>Ginásio / Academia</b>						
Área de ginástica	1,2	4	7,8	9,36	10,92	12,48
Arquibancada	1,2	4	7,5	9	10,5	13
Esportes de ringue	1,2	4	28,8	34,56	40,32	46,08
Quadra de esportes - classe 4 <sup>2</sup>	1,2	4	7,8	9,36	10,92	12,48
Quadra de esportes - classe 3 <sup>3</sup>	1,2	4	12,9	15,48	18,06	20,64
Quadra de esportes - classe 2 <sup>4</sup>	1,2	4	20,7	24,84	28,98	33,12
Quadra de esportes - classe 1 <sup>5</sup>	1,2	4	32,4	38,88	45,36	51,84
<b>Hall de Entrada - Vestíbulo</b>	1,2	4	8	9,6	11,2	12,8
Cinemas	1,2	4	8	9,6	11,2	12,8
Hotel	1,2	4	8	9,6	11,2	12,8
Salas de Espetáculo	0,8	6	8	9,6	11,2	12,8
<b>Hospital</b>						
Circulação		< 2,4 largura	9,6	11,52	13,44	15,36
Emergência	0,8	6	24,3	29,16	34,02	38,88
Enfermaria	0,8	6	9,5	11,40	13,30	15,20
Exames/Tratamento	0,6	6	17,9	21,48	25,06	28,64
Farmácia	0,8	6	12,3	14,76	17,22	19,68
Fisioterapia	0,8	6	9,8	11,76	13,72	15,68
Sala de espera, estar	0,8	6	11,5	13,80	16,10	18,40
Radiologia	0,8	6	14,2	17,04	19,88	22,72
Recuperação	0,8	6	12,4	14,88	17,36	19,84
Sala de enfermeiros	0,8	6	9,4	11,28	13,16	15,04
Sala de operação	0,8	6	20,3	24,36	28,42	32,48
Quarto de pacientes	0,8	6	6,7	8,04	9,38	10,72
Suprimentos médicos	0,8	6	13,7	16,44	19,18	21,92
<b>Igreja, templo</b>						
Assentos	1,2	4	16,5	19,8	23,1	26,40
Altar, Coro	1,2	4	16,5	19,8	23,1	26,40
Sala de comunhão - nave	1,2	4	6,9	8,28	9,66	11,04
<b>Laboratórios</b>						
para salas de aula	0,8	6	10,2	12,24	14,28	16,32
médico/Ind./Pesq.	0,8	6	19,5	23,40	27,30	31,20
<b>Lavanderia</b>	1,2	4	6,5	7,8	9,1	10,40
<b>Museu</b>						
Restauração	0,8	6	11,0	13,20	15,40	17,60
Sala de exibição	0,8	6	11,3	13,56	15,82	18,08

(Conclusão)

Ambientes / Atividades	Limite do ambiente		DPI <sub>L</sub> (W/m <sup>2</sup> )			
	K	RCR	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Oficina - seminário, cursos	0,8	6	17,1	20,52	23,94	27,36
Oficina mecânica	1,2	4	6	7,2	8,4	9,6
Quartos de Hotel	0,8	6	7,5	9	10,5	13
Refeitório	0,8	6	11,5	13,8	16,1	18,4
Restaurante - salão	1,2	4	9,6	11,52	13,44	15,36
Hotel	1,2	4	8,8	10,56	12,32	14,08
Lanchonete/Café	1,2	4	7	8,4	9,8	11,2
Bar/Lazer	1,2	4	14,1	16,92	19,74	22,56
Sala de Aula, Treinamento	1,2	4	10,2	12,24	14,28	16,32
Sala de espera, convivência	1,2	4	6	7,2	8,4	9,6
Sala de Reuniões, Conferência, Multiuso	0,8	6	11,9	14,28	16,66	19,04
Vestiário	0,8	6	8,1	9,72	11,34	12,96
Transportes						
Área de bagagem	1,2	4	7,5	9	10,5	12
Aeroporto - pátio	1,2	4	3,9	4,68	5,46	6,24
Assentos - espera	1,2	4	5,8	6,96	8,12	9,28
Terminal - bilheteria	1,2	4	11,6	13,92	16,24	18,56

Fonte: INMETRO, 2010, p. 45-47.

<sup>1</sup> Por metro de altura.

<sup>2</sup> Para competições em estádios e ginásios de grande capacidade, acima de 5.000 espectadores.

<sup>3</sup> Para competições em estádios e ginásios com capacidade menor que 5.000 espectadores.

<sup>4</sup> Para estádios e ginásios de jogos classificatórios, considerando a presença de espectadores.

<sup>5</sup> Para quadras de jogos sociais e de recreação apenas, não considera a presença de espectadores.

Para efeito de classificação do sistema de iluminação da edificação deverão ser satisfeitos, além dos limites de potência instalada, critérios de controle do sistema de iluminação, conforme o nível pretendido: divisão dos circuitos, contribuição da luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação, conforme apresentado na Tabela 11 (INMETRO, 2010, p. 37).

**Tabela 11 – Pré-requisitos específicos do sistema de iluminação**

Pré-requisito	Nível A	Nível B	Nível C
Divisão dos circuitos	Sim	Sim	Sim
Contribuição da luz natural	Sim	Sim	
Desligamento automático do sistema de iluminação	Sim		

Fonte: INMETRO, 2010, adaptado pela autora.

#### 4.1.3 Sistema de Condicionamento de Ar

A classificação do INMETRO é baseada no índice de eficiência energética do equipamento. A eficiência energética de um condicionador de ar é definida como sendo a razão entre a sua capacidade de refrigeração e a potência elétrica consumida pelo equipamento. Os modelos de condicionador de ar apresentam a sua classe de eficiência energética por meio de uma letra, de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), que simboliza o nível de eficiência energética de cada modelo.

Para a classificação do nível de eficiência, é obrigatório que os edifícios condicionados artificialmente possuam sistemas de condicionamento de ar com eficiência conhecida, tais como (INMETRO, 2010, p. 51):

- a) condicionadores de ar do tipo janela e SPLIT com eficiência avaliada pelo PBE/INMETRO (<<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>) e de acordo com as normas brasileiras e/ou internacionais de condicionadores de ar;
- b) condicionadores de ar não regulamentados pelo PBE/INMETRO (condicionadores de ar Split e janela e sistema de condicionamento central) são classificados de acordo com requisitos mínimos de eficiência baseados na ASHRAE 90.1 (INMETRO, 2010, p. 52-63):
  - Para os níveis A e B os condicionadores de ar, os resfriadores de líquido, os condensadores e torres de arrefecimento devem satisfazer os requisitos mínimos de eficiência estabelecidos pela ASHRAE 90.1 – 2007 (ASHRAE, 2007a);
  - Para o nível C, os condicionadores de ar e os resfriadores de líquido devem atender aos requisitos mínimos de eficiência definidos na ASHRAE 90.1 – 2004, já os condensadores e torres de arrefecimento

devem atender aos requisitos mínimos de eficiência definidos na ASHRAE 90.1 – 2007 (ASHRAE, 2007a);

- Para o nível D, os condicionadores de ar e os resfriadores de líquido, devem satisfazer aos requisitos mínimos de eficiência definidos na ASHRAE 90.1 – 1999 (ASHRAE, 1999);
- Nível E: quando o sistema não se enquadrar nos anteriores.

Por exemplo:

Supondo um edifício comercial com 10 andares, com área útil > 500 m<sup>2</sup>, cuja atividade principal identificada seja “Escritório”, para avaliar o seu sistema de condicionamento de ar é preciso identificar os aparelhos utilizados como apresentado na Tabela 12, para posterior levantamento de suas características.

**Tabela 12** – Equipamentos escolhidos para avaliação do sistema de CA

Marca	Modelo	Tipo	Capacidade	COP
			(BTU/h)	(W/W)
DHEHER	ASW-H12A2/EY ASW-H12A2/EY	SPLIT	12.000	2,78
CARRIER	42PFQA022515LC/38KPQA022515MC	SPLIT	22.000	3,21

Fonte: Konigami et al., 2011.

Na página eletrônica do INMETRO (<<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>) estão disponibilizadas as tabelas atualizadas com classe de eficiência para cada categoria, a partir daí, compara-se o coeficiente de eficiência energética (COP) do equipamento escolhido com os limites tabelados pelo INMETRO (CEE), mostrado na Tabela 13.

**Tabela 13** – Condicionadores de ar tipo *split*

## CONDICIONADORES DE AR SPLIT HI-WALL

Data atualização: 17/5/2011

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		Split Hi-Wall			
			Rotação Fixa		Rotação Variável	
<b>A</b>	3,20	<CEE	197	23,9%	103	81,1%
<b>B</b>	3,00	<CEE≤ 3,20	152	18,4%	16	12,6%
<b>C</b>	2,80	<CEE≤ 3,00	273	33,1%	8	6,3%
<b>D</b>	2,60	<CEE≤ 2,80	162	19,7%	0	0,0%
<b>E</b>	2,39	≤CEE≤ 2,60	40	4,9%	0	0,0%

Fonte: &lt;www.inmetro.com.br&gt;, 2011.

No caso-exemplo proposto os condicionadores possuem diferentes níveis de eficiência, logo devem ter os EqNumCA ponderados pela capacidade dos equipamentos, de modo a obter o nível de eficiência final do sistema de condicionamento de ar, conforme Tabela 14.

Nessa análise considerou-se que todas as unidades condensadoras são sombreadas e ventiladas adequadamente, ou seja, que os pré-requisitos foram atendidos.

**Tabela 14** – Determinação do nível de eficiência CA

Andar	Quant.	Pot. unit. (BTU)	P <sub>total</sub> inst. (W)	Nível de Eficiência	EqNumCA
1º	6	22.000	132.000	A	5
2º	6	22.000	132.000	A	5
3º	6	22.000	132.000	A	5
4º	6	22.000	132.000	A	5
5º	6	22.000	132.000	A	5
6º	6	22.000	132.000	A	5
7º	10	12.000	120.000	D	2
8º	10	12.000	120.000	D	2
9º	10	12.000	120.000	D	2
10º	10	12.000	120.000	D	2
<b>Total</b>			<b>1.272.000</b>	<b>B</b>	<b>3,87</b>

Fonte: Konigami et al., 2011.

Assim, a ENCE parcial obtida pelo método prescritivo para o sistema de condicionamento de ar é Nível B, pois os pré-requisitos foram satisfeitos conforme Tabela 15.

**Tabela 15** – Pré-requisitos específicos para equipamentos tipo janela ou *split*

Pré-requisito	Nível A
Proteção das unidades condensadoras	Sim
Isolamento térmico para dutos de ar	Sim
Condicionamento de ar por aquecimento artificial	Sim

Fonte: INMETRO, 2010, adaptado pela autora.

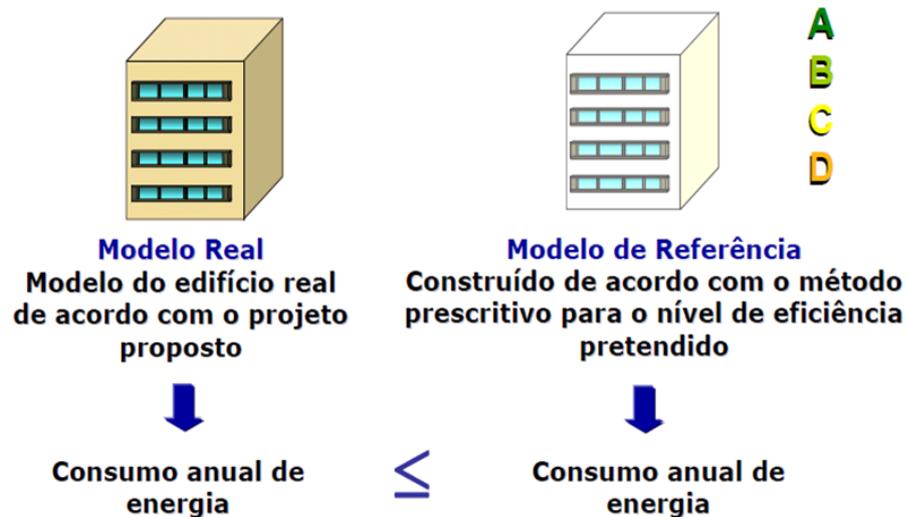
Terminado o cálculo da eficiência destes três sistemas (envoltória, iluminação e condicionamento de ar), os resultados parciais são inseridos na equação geral para verificação do nível de eficiência global da edificação. Porém, o cálculo dos três diferentes níveis de eficiência parciais e do nível geral de eficiência podem ser modificados tanto por bonificações, que podem elevar a eficiência, quanto por pré-requisitos que, se não cumpridos, reduzem esses níveis. As bonificações são bônus de pontuação que visam incentivar o uso de energia solar para aquecimento de água, uso racional de água, cogeração etc., porém sem obrigatoriedade de constarem no edifício. Já os pré-requisitos referem-se a cada sistema em particular, e também ao edifício por completo, sendo seu cumprimento obrigatório (MANUAL..., 2010, p. 10).

#### 4.1.4 Método da Simulação

A simulação do desempenho do edifício pode ser utilizada como forma alternativa para classificação do nível de eficiência.

O método de avaliação da eficiência energética de um edifício através da simulação computacional pode ser usado para avaliar edifícios condicionados artificialmente, edifícios não condicionados ou que possuem áreas condicionadas – de longa permanência – menor que a área útil total (INMETRO, 2010, p. 132).

O método da simulação compara o desempenho do edifício proposto (*real*) com um edifício similar (*de referência*), cujas características devem estar de acordo com o nível de eficiência pretendido. Portanto, dois modelos devem ser construídos: o modelo representando o edifício real (de acordo com o projeto proposto) e o modelo de referência (de acordo com o nível de eficiência pretendido).



**Figura 14** – Modelo real e de referência

Fonte: Santos, 2009, p. 11.

Deve ser demonstrado que o consumo de energia do projeto proposto deve ser menor ou igual do que o consumo do edifício de referência.

#### ❖ **Certificação**

O Regulamento de Avaliação da Conformidade do nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C) descreve os procedimentos para a etiquetagem.

Para obtenção da ENCE a edificação deve ser submetida à avaliação de projeto e à avaliação do edifício construído.

O processo de implementação do certificado passa por duas etapas:

- a) Projeto e Documentação: é emitido um certificado com etiqueta atestando o nível de eficiência;
- b) Auditoria no edifício em uso (pós *habite-se* e com sistemas instalados) realizada pelo auditor credenciado: é fornecida uma placa com o certificado, que poderá ser exposta no edifício.

## 4.2 REGULAMENTAÇÃO DOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

## **ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1-2007 *Energy Standard Buildings Except Low-Rise Residential Buildings***

A *Standard* 90.1 estabelece requisitos para a eficiência mínima, tanto para a etapa de projeto e como para a construção de edifícios energeticamente e também critérios para determinação de conformidade com esses requisitos, sendo aplicável a novas edificações e ampliações de edificações existentes e seus sistemas, a modificações de sistemas e de equipamentos dos edifícios existentes, excetuando-se residências unifilares, residências multifamiliares com três ou menos pavimentos acima do solo, edificações manufaturadas, edificações que não façam uso de eletricidade ou de combustíveis fósseis e equipamentos e porções dos sistemas do edifício que utilizem energia para fins industriais, de manufatura ou de processos comerciais.

Apresenta 12 seções e quatro apêndices, sendo que as seções de 5 a 10 possuem critérios de cumprimento obrigatório, referentes à envoltória, sistemas de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar, aquecimento de água, sistemas de distribuição de energia, sistema de iluminação e outros equipamentos, respectivamente. Estão incluídas para avaliação opções prescritivas, de compensação e simulação. A seção 11, *Energy Cost Budget*, oferece uma metodologia alternativa, a ser utilizada para os casos que não for possível atendimento aos critérios prescritivos. Nos apêndices de A a D são disponibilizadas informações sobre o zoneamento climático, propriedades físicas dos componentes construtivos, etc. Já os apêndices E e F, apresentam informações de instituições e grupos de pesquisa, outras normas e listas de adendo da versão de 2004. O apêndice G, denominado *Performance rating method*, apresenta metodologia para avaliação de desempenho energético de edifícios que excedem os requisitos da norma (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2004, p. 6-8).

A seguir serão apresentadas algumas seções.

### **4.2.1 Envoltória**

A envoltória do edifício é um dos fatores mais importantes a serem considerados no projeto de edifícios energeticamente (ASHRAE, 2004), por estar relacionada aos ganhos de carga térmica pela cobertura e fachadas e a

uma maior solicitação do sistema de condicionamento de ar, resultando em maior consumo e maiores custos de energia. Também influencia a temperatura das superfícies internas, as quais interferem nas condições ambientais e no conforto térmico dos ocupantes.

No projeto da envoltória da edificação devem ser consideradas cargas térmicas externas e internas à edificação, como também considerar o aproveitamento de iluminação natural. Assim, o balanço térmico será função da magnitude da carga térmica interna, das trocas de calor pelos fechamentos da envoltória e pela tomada de ar externo (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2004, p. 34).

Os itens de cumprimento obrigatório que devem estar em conformidade em todos os casos, são requisitos de isolamento térmico dos fechamentos externos e de controle de infiltração, incluindo de portas e janelas.

O método prescritivo determina limites de propriedades térmicas dos fechamentos da envoltória e porcentagens de área de abertura envidraçada para diferentes zonas climáticas de um total de oito.

O método de compensação (*trade-offs*) deve ser utilizado em casos em que não é possível satisfazer todos os limites determinados pela opção prescritiva e não há interesse em realizar simulação de desempenho energético do edifício. Nesta opção o desempenho térmico de um componente construtivo pode não satisfazer os critérios da opção prescritiva desde que outros componentes tenham um desempenho melhor que o exigido. A metodologia para a opção de compensação é descrita no apêndice C da norma, porém por exigir levantamento de dados de área e propriedades físicas de cada componente construtivo e para cada orientação, é de difícil aplicação.

Já na opção de simulação, apresentada na seção 11 - *Energy Cost Budget Method*, o modelo referente ao edifício a ser avaliado, denominado *Proposed Building Design*, deve apresentar estimativa de custo anual de consumo de energia, chamada *Design Energy Cost*, igual ou inferior ao custo, ou *Energy Cost Budget*, do modelo de comparação, chamado *Budget Building Design* para estar em conformidade com a norma. Os dois modelos devem ser simulados pelo mesmo programa computacional, utilizando o mesmo arquivo climático, padrões de uso e de ocupação, tarifas e cargas de processo. O modelo referente ao edifício sendo avaliado deve ser estabelecido a partir de suas características reais ou, quando em

fase de projeto, segundo documentos de projeto. Quando não prevista em projeto, determinada característica do edifício deve ser modelada como no modelo de comparação, exceto para serviço de água quente. O modelo de comparação (*Budget Building Design*) deve possuir as mesmas características do modelo proposto a ser avaliado, com algumas exceções (ASHRAE, 2007b, p. 66).

Esta seção apresenta nota informativa que enfatiza que os resultados de *Design Energy Cost* aplicam-se apenas para determinação de conformidade com a norma, não podendo ser tomados como dados de custo do edifício quando em operação, uma vez que são esperadas variações de ocupação, de padrões de uso, de clima e de tarifas de energia (ASHRAE, 2007b, p. 66).

#### **4.2.2 Sistema Elétrico**

Possui somente itens de atendimento obrigatório como: dimensionamento de condutores para limites máximos de queda de tensão, *as built*<sup>4</sup> e manuais de operação e manutenção. Os limites de queda de tensão são (RICHMAN, 2008, p. 6):

- 2% para condutores alimentadores;
- 3% para condutores do circuito de distribuição, considerando a carga de projeto.

Os requisitos colaboram para a economia de energia, pois os itens de queda de tensão limitam as perdas de potência ao longo do sistema de distribuição, já a documentação (como desenhos, *as built* e manuais) auxilia as equipes de manutenção (ASHRAE, 2007b, p. 58).

#### **4.2.3 Sistema de Iluminação**

Um sistema de iluminação eficiente energeticamente deve possuir controles e equipamentos eficientes. A norma incentiva o uso de equipamentos de iluminação e práticas de projeto eficientes energeticamente por meio de limites de densidade de potência (LPD) instalada para ambientes internos e externos. Também está previsto

---

<sup>4</sup> *as built*: é a revisão final nos desenhos de projeto, incorporando todas as adaptações feitas no canteiro de obras, para espelharem fielmente o que foi efetivamente construído. Significa “como construído”.

automação para desligamento de luminárias quando o seu uso não se fizer necessário (ASHRAE, 2007b, p. 58).

Os itens de atendimento obrigatório incluem (RICHMAN, 2008, p. 11, 14, 15, 17, 18, 33):

- Número mínimo de interruptores por ambiente ou área de abrangência;
- desligamento automático programado ou sensor de presença em edificações  $\geq 465 \text{ m}^2$ ;
- compartilhamento de reatores por lâmpadas fluorescente tubular com mais de 30 W e sob o mesmo controle;
- desligamento automático da iluminação externa controlado por sensor de iluminância;
- eficiência mínima de 60 lm/W para luminárias de iluminação externa com mais de 100 W cada;
- limite de potência instalada em iluminação para áreas externas de 5% superior ao somatório das potências permitidas para cada área, considerando que para algumas aplicações, como iluminação de fachadas, os limites individuais devem ser respeitados.

Além dos itens obrigatórios, a ASHRAE/IESNA 90.1 define limites de densidades de potência (LPD) de iluminação interna para o edifício completo e para os ambientes separadamente, de acordo com as atividades exercidas em ambos. Portanto, dois métodos são apresentados: Método do edifício completo (*Whole building*) e o Método por ambiente (*Space-by-space*). Aqueles que não tiverem seus usos especificados pela norma deverão utilizar os limites definidos para os usos que mais se assemelham (RICHMAN, 2008, p. 19, 23).

#### ❖ **Método do Edifício Completo (Método da Área)**

Determina-se a potência total permitida a partir do limite de densidade de potência instalada segundo o uso principal da edificação e a área, como apresentado pela Tabela 16 (ASHRAE, 2007b, p. 59).

**Tabela 16** – Densidade de potência usando o Método da Área

<b>Building Area Type</b>	<b>LPD (W/ft<sup>2</sup>)</b>
Automotive facility	0.9
Convention center	1.2
Courthouse	1.2
Dining: bar lounge/leisure	1.3
Dining: cafeteria/fast food	1.4
Dining: family	1.6
Dormitory	1.0
Exercise center	1.0
Gymnasium	1.1
Health-care clinic	1.0
Hospital	1.2
Hotel	1.0
Library	1.3
Manufacturing facility	1.3
Motel	1.0
Motion picture theater	1.2
Multifamily	0.7
Museum	1.1
Office	1.0
Parking garage	0.3
Penitentiary	1.0
Performing arts theater	1.6
Police/ fire station	1.0
Post office	1.1
Religious building	1.3
Retail	1.5
School/university	1.2
Sports arena	1.1
Town hall	1.1
Transportation	1.0
Warehouse	0.8
Workshop	1.4

Fonte: ASHRAE, 2007b, p. 62.

#### ❖ Método por Ambiente (*Space-by-Space*)

A potência total permitida é calculada a partir dos limites de LPD para cada ambiente, como se pode observar na Tabela 17 (ASHRAE, 2007b, p. 62).

Tabela 17 – Densidade de potência usando o método *Space-by-Space*

(Continua)

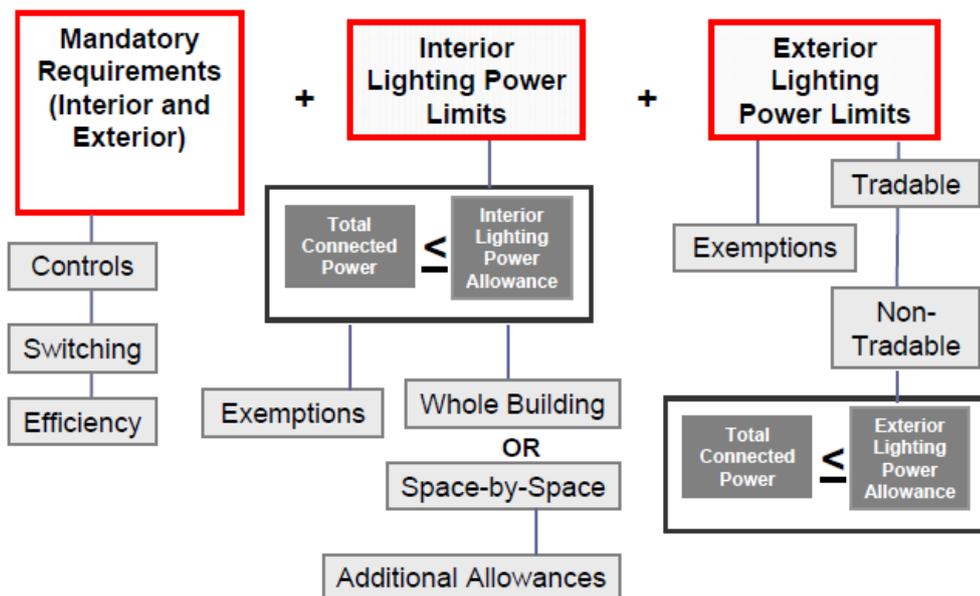
Common Space Types	LPD (W/ft <sup>2</sup> )	Building-Specific Space Types	LPD (W/ft <sup>2</sup> )
Office-Enclosed	1.1	Gymnasium/Exercise Center	
Office-Open Plan	1.1	Playing Area	1.4
Conference/Meeting/Multipurpose	1.3	Exercise Area	0.9
Classroom/Lecture/Training	1.4	Courthouse/Police Station/Penitentiary	
For Penitentiary	1.3	Courtroom	1.9
Lobby	1.3	Confinement Cells	0.9
For Hotel	1.1	Judges` Chambers	1.3
For Performing Arts Theater	3.3	Fire Stations	
For Motion Picture Theater	1.1	Engine Room	0.8
Audience/Seating Area	0.9	Sleeping Quarters	0.3
For Gymnasium	0.4	Post Office-Sorting Area	1.2
For Exercise Center	0.3	Convention Center-Exhibit Space	1.3
For Convention Center	0.7	Library	
For Penitentiary	0.7	Card File and Cataloging	1.1
For Religious Buildings	1.7	Stacks	1.7
For Sports Arena	0.4	Reading Area	1.2
For Performing Arts Theater	2.6	Hospital	
For Motion Picture Theater	1.2	Emergency	2.7
For Transportation	0.5	Recovery	0.8
Atrium-First Three Floors	0.6	Nurses` Station	1.0
Atrium-Each Additional Floors	0.2	Exam/Treatment	1.5
Lounge/Recreation	1.2	Pharmacy	1.2
For Hospital	0.8	Patient Room	0.7
Dining Area	0.9	Pharmacy	2.2
For Penitentiary	1.3	Nursery	0.6
For Hotel	1.3	Medical Supply	1.4
For Motel	1.2	Physical Therapy	0.9
For Bar Lounge/Leisure Dining	1.4	Radiology	0.4
For Family Dining	2.1	Laundry-Washing	0.6
Food Preparation	1.2	Automotive-Service/Repair	0.7
Laboratory	1.4	Manufacturing	
Restrooms	0.9	Low Bay (<25ft Floor to Ceiling Height)	1.2
Dressing/Locker/Fitting Room	0.6	High Bay (≥25ft Floor to Ceiling Height)	1.7
Corridor/Transition	0.5	Detailed Manufacturing	2.1
For Hospital	1.0	Equipment Room	1.2
For Manufacturing Facility	0.5	Control Room	0.5
Stairs-Active	0.6	Hotel/Motel Guest Rooms	1.1
Active Storage	0.8	Dormitory-Living Quarters	1.1
For Hospital	0.9	Museum	
Inactive Storage	0.3	General Exhibition	1.0
For Museum	0.8	Restoration	1.7

(conclusão)

Common Space Types	LPD (W/ft²)	Building-Specific Space Types	LPD (W/ft²)
Electrical/Mechanical	1.5	Bank/Office-Banking Activity Area	1.5
Workshop	1.9	Religious Buildings	
Sales Area [for accent lighting, see Section 9.6.2(b)]	1.7	Worship Pulpit, Choir	2.4
		Fellowship Hall	0.9
		Retail	
		Sales Area [for accent lighting, see Section 9.6.3(c)]	1.7
		Mall Concourse	1.7
		Sports Arena	
		Ring Sports Area	2.7
		Court Sports Area	2.3
		Indoor Playing Field Area	1.4
		Warehouse	
		Fine Material Storage	1.4
		Medium/Bulky Material Storage	0.9
		Parking Garage-Garage Area	0.2
		Transportation	
		Airport-Concourse	0.6
		Air/Train/Bus-Baggage Area	1.0
		Terminal-Ticket Counter	1.5

Fonte: ASHRAE, 2007b, p. 63-64.

De uma forma resumida o sistema de iluminação avalia:



**Figura 15** – Requisitos básicos de iluminação

Fonte: Richman, 2008, p. 10.

Os limites utilizados na ASHRAE são estabelecidos pelo *Commercial Building Energy Consumption Survey*, CBECS, um levantamento periódico do uso de energia em edifícios comerciais dos EUA, no qual os dados de área, atividade, materiais construtivos, fontes energéticas e uso para uma amostra de cerca de 5.000 edifícios por todo o território americano, são coletados. O CBECS tornou-se, a partir de 1992, a base de dados de edifícios não residenciais dos EUA, com dados registrados desde 1986 (CBECS, 2003 apud CARLO, LAMBERTS, 2010, p. 13).

#### **4.2.4 Aquecimento, Ventilação e Condicionamento de Ar**

Os sistemas de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar respondem por uma grande parcela do uso final de energia de edifícios abrangidos pela norma. Um sistema não é eficiente energeticamente apenas por possuir equipamentos eficientes, mas sim porque a distribuição dos fluxos de ar e sua operação contribuem para a eficiência do conjunto.

Na seção de climatização são estabelecidos padrões mínimos de eficiência para diferentes equipamentos. Os itens de atendimento obrigatório aplicam-se a todos os sistemas e equipamentos mecânicos para aquecimento, ventilação e condicionamento de ar, incluindo modificações no sistema de edifícios existentes. Alguns são citados a seguir.

- Eficiência mínima para unidades condensadoras, bombas de calor, chillers, equipamentos compactos, fornos e unidades de aquecimento, caldeiras e equipamentos como torres de resfriamento ou condensadores de ar;
- A carga térmica para aquecimento ou resfriamento utilizada para dimensionamento dos sistemas deve ter sido estimada conforme normas ou manuais de engenharia;
- Automação para acionamento ou desligamento do sistema de condicionamento de ar, incluindo entre outros, critérios específicos para termostatos, como localização, área de atendimento e controle; controle de acionamento otimizado de insuflação de ar para vazões específicas; dampers motorizados nos *shafts* de escadas e de elevadores, com capacidade de desligamento automático durante operação do edifício e interligados para abrirem quando solicitado pelos sistemas de detecção

de fumaça, e *dampers* motorizados para desligamento automático da tomada de ar externo e da exaustão quando sistemas ou o espaço não estão sendo utilizados; e automação de ventiladores a partir de determinada potência;

- Isolamento térmico de tubulações, dutos etc.;
- Controle de estanqueidade de dutos e etc.

A opção prescritiva lista uma série de requisitos, entre os quais estão:

- economizadores de ar e de água de sistemas de resfriamento;
- critérios para dimensionamento da potência de ventiladores;
- critérios para dimensionamento da potência de bombas;
- eficiência mínima de recuperadores de calor;
- critérios de operação de ventiladores de equipamentos de rejeição de calor como condensadores de ar, torres de resfriamento abertas e torres de resfriamento de circuito fechado, para controle da temperatura da água de saída e da água de condensação;
- uso de sistemas de aquecimento do tipo painel radiante em espaços não fechados;
- limitação no uso de dutos de desvio de gás quente, utilizados para evitar congelamento da serpentina e etc.

#### **4.2.5 Aquecimento de Água**

Para redução do consumo de energia com aquecimento de água, a norma apresenta algumas estratégias de projeto, como aquecimento solar, especificação de dispositivos de restrição de fluxo de água e isolamento térmico em tanques e tubulações. Destacam-se alguns itens de atendimento obrigatório (ASHRAE, 2007b, p. 55):

- dimensionamento do sistema para carga térmica calculada de acordo com o manual do fabricante ou normas e manuais de engenharia;
- eficiência mínima de caldeiras de aquecimento de água para consumo, aquecedores de piscinas e tanques de armazenamento de água quente;
- isolamento térmico de tubulação de distribuição de água quente;

- controles de temperatura etc.

Os requisitos da opção prescritiva limitam-se a condições específicas para sistemas de aquecimento de água que servem para condicionamento de espaços e aquecimento de água.

#### **4.2.6 Outros Equipamentos**

Esta seção é aplicável a motores, para os quais níveis mínimos de eficiência são exigidos para potência, tipo e número de pólos, salvo algumas exceções. Seu objetivo está em reduzir ineficiências, as quais não apenas resultam em maior consumo de energia direta, como a exemplo dos ventiladores, em maior consumo de energia para resfriamento devido ao calor dissipado (ASHRAE, 2007b, p. 65).

#### **4.2.7 Apêndice G (*Performance Rating Method*)**

Deve ser utilizado para análise de projetos cujo desempenho excede os requisitos da norma.

O modelo referente ao edifício a ser avaliado é chamado de *Proposed Building* e o modelo de comparação de *Baseline Building*. O programa de simulação deve ser capaz de modelar o que é exigido pela seção 11, com exceção ao número de horas por ano, a saber, 8.760. Ambos os modelos devem ser simulados pelo mesmo programa computacional, com mesmo arquivo climático, padrões de uso e de ocupação, tarifas e cargas de processo, da mesma forma que na seção 11. O modelo de comparação (*Baseline Building*) deve possuir as mesmas características do *Proposed Building*, com algumas exceções (propriedades térmicas, orientação do projeto etc.) (ASHRAE, 2007b, p. 175).

### **4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Controlar o crescimento do consumo de energia associado ao crescimento econômico do país requer uma série de medidas que racionalizem o uso de energia. Muitos países têm se utilizado de instrumentos voltados para o desempenho

energético de edificações obtendo êxito, pois os mesmos contribuem para o desenvolvimento sustentável.

A aplicação do Programa de Etiquetagem de Edificações visa promover a eficiência energética no setor de edificações comerciais, de serviços e públicas, porém alguns itens relevantes também poderiam ser considerados no programa de etiquetagem como: acionamentos motrizes prediais, tais como: bombeamento e transporte (elevadores, escadas rolantes, esteiras) e também adequação tarifária e da demanda e seu controle, potência reativa, manutenção etc.

O trabalho de Carlo (2008) desenvolveu uma equação de regressão linear multivariada para criar um indicador de eficiência energética da envoltória das edificações que é utilizada no RTQ-C. Alguns ajustes ainda precisam ser feitos, já que a regulamentação só considera alguns aspectos na avaliação da edificação (envoltória, iluminação, condicionamento de ar) (DIDONÉ, 2009, p. 34-35).

O zoneamento bioclimático apresentado na terceira parte da norma de desempenho térmico para edificações divide o país em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, pautado apenas no índice de conforto de Givoni modificado (ABNT, 2003 apud LOURA, 2006, p. 38). Segundo Pereira e Assis (2005) divergências ocorrem devido à extrapolação de Givoni para todo o território nacional (LOURA, 2006, p. 38).

A maior contribuição do regulamento técnico brasileiro é a alternativa de análise sem ferramenta de simulação (método prescritivo) (CAVALCANTE, 2010, p. 45). O método prescritivo aplica-se a grande maioria de tipologias construídas atualmente no Brasil, porém não abrange todas as soluções possíveis de existir em um edifício (CARLO; LAMBERTS, 2010, p. 10).

Os critérios do sistema de iluminação foram pautados no método da ASHRAE/IESNA *Standard* 90.1 (2007), com adaptações a realidade brasileira (CARLO; LAMBERTS, 2010, p. 13). O método proporciona um modo simples e funcional, pois a única especificação necessária é a potência dos equipamentos instalados. A avaliação é realizada com base na potência instalada, exigindo menos cálculos, além de permitir maior flexibilidade aos projetos luminotécnicos, por não limitar o fator de depreciação a ser utilizado. Ao avaliar um ambiente pela densidade de potência instalada corre-se o risco de avaliar um projeto como eficiente, porém o mesmo pode não está atendendo a norma de iluminação (RAMOS; LAMBERTS, [2010], p. 6).

Com relação ao sistema de condicionamento de ar o RTQ-C utiliza a ASHRAE *Standard 90.1* de 2004 para os níveis A e B, a norma de 1999 para o nível C e a de 1989 para o nível D.

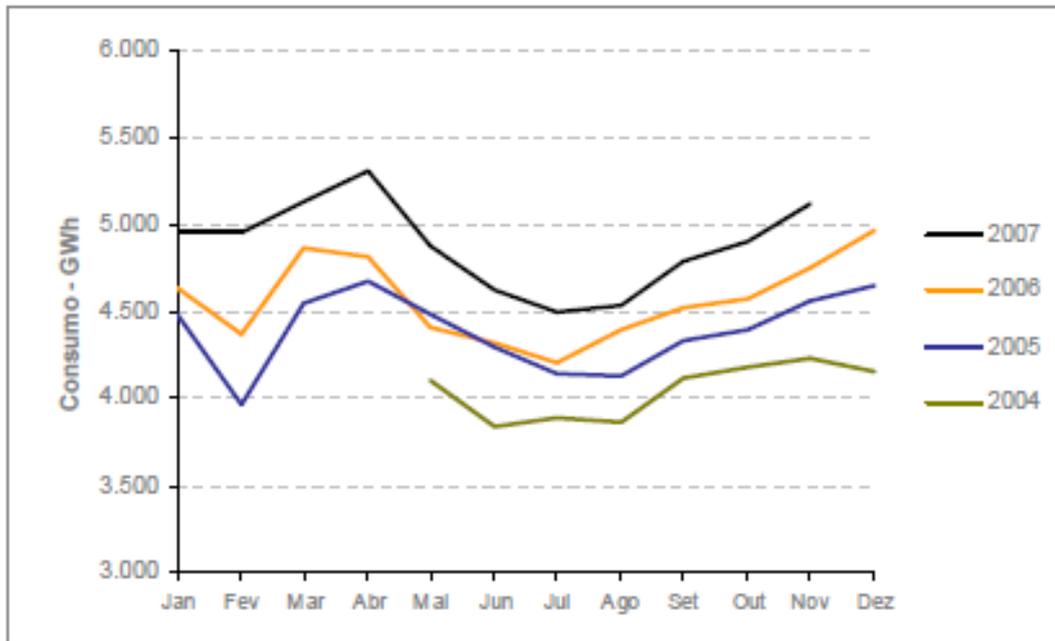
Conforme observado várias semelhanças são encontradas entre a norma *Standard 90.1* e a regulamentação brasileira para edificações não-residenciais.

## CAPÍTULO 5 – EFICIENTIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS

Este capítulo apresenta uma visão geral de técnicas utilizadas em eficiência predial, objetivando uma melhor análise das técnicas e dos objetivos do RTQ-C, sob os aspectos dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar, transporte vertical e bombeamento.

### 5.1 CLASSES COMERCIAL, DE SERVIÇOS E SETOR DE PRÉDIOS PÚBLICOS

A atividade comercial caracteriza-se pelo grande número de empresas e empregos. Além de empregar parcela significativa da população, contribui em grande medida para a composição do Produto Interno Bruto - PIB e consumo de energia elétrica. A Figura 16 compara o consumo mensal de energia elétrica na classe comercial entre os meses de maio/2004 a novembro/2007. Observa-se o crescimento contínuo do consumo na comparação entre iguais meses do período. Cabe destacar a elevação do consumo no ano de 2007, provavelmente impulsionado pela aceleração nas atividades econômicas. Nesta análise estão incluídos todos os consumidores atendidos pelo sistema elétrico nacional, ou seja, os consumidores cativos e livres e também a parcela da autoprodução de energia elétrica que utiliza as redes de transmissão e de distribuição do serviço público (ELETROBRÁS, 2008, p. 12, 18).

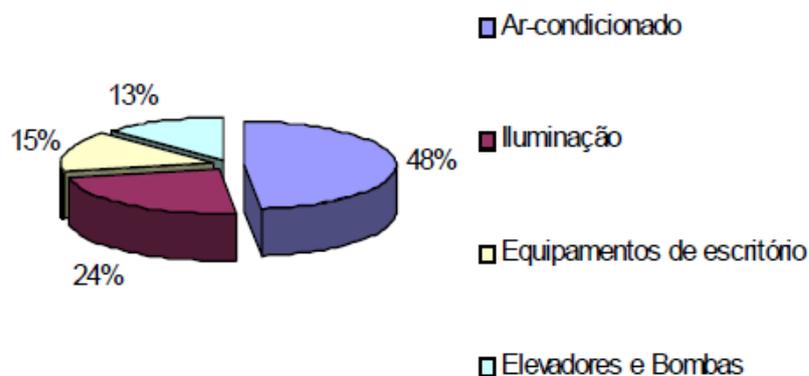


**Figura 16** – Consumo de energia elétrica da classe comercial (GWh), no período de maio de 2004 a novembro de 2007

Fonte: EPE - Boletim de Estatística Mensal de Energia Elétrica apud Eletrobrás, 2008, p. 18.

O uso de energia elétrica no setor de prédios públicos está associado aos padrões tecnológicos e de eficiência energética dos diversos sistemas e equipamentos instalados, às suas características arquitetônicas, ao clima local, à atividade a que se destina, ao comportamento e grau de consciência dos usuários para o uso adequado e racional de energia (MAGALHÃES, 2001, p. 11).

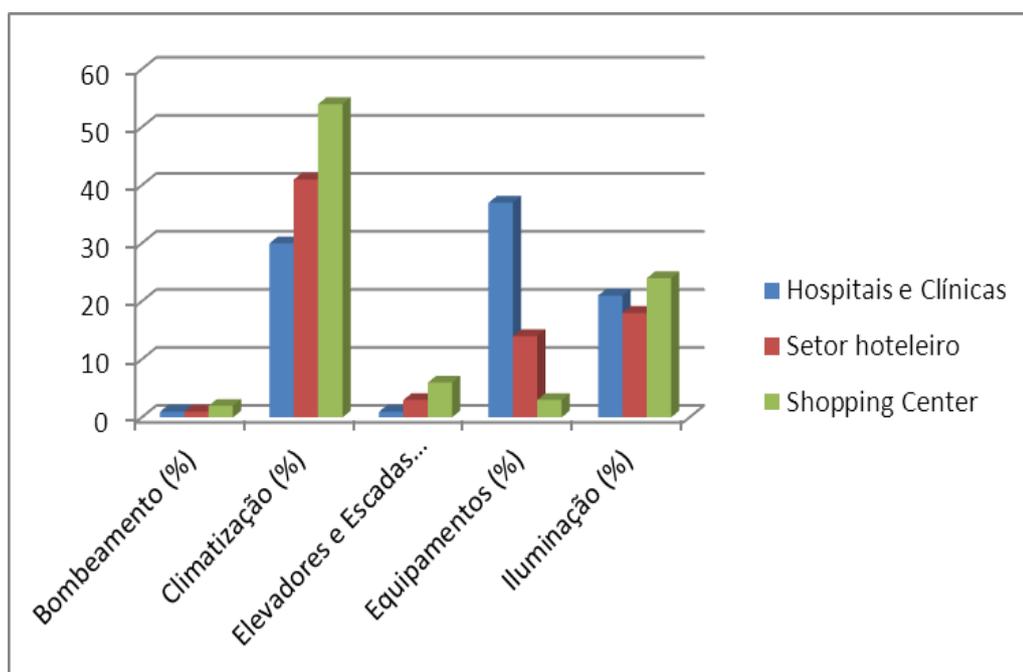
De forma geral, o perfil de distribuição do consumo de energia elétrica no setor de prédios públicos encontra-se descrito na Figura 17.



**Figura 17** – Distribuição do consumo de energia elétrica por uso final – Setor de prédios públicos

Fonte: Magalhães, 2001, p. 11.

Tanto na classe comercial, de serviços como no setor de prédios públicos é importante levantar outros aspectos energéticos ponderáveis, além dos já previstos no projeto de Etiquetagem (envoltória, iluminação e condicionamento de ar), como: bombeamento d'água, transporte (elevador, escada rolante e esteiras), controle de demanda, enquadramento tarifário etc. Alguns desses aspectos serão abordados nos setores de hotéis, shopping centers e hospitais, porém podem ser empregados também aos demais setores que compõe a classe comercial.



**Figura 18** – Distribuição do consumo de energia elétrica nos setores de hotéis, shopping centers e hospitais – Brasil – ano base 2005

Fonte: Eletrobrás, 2008, p. 26-28, adaptado pela autora.

### Hospitais

Hospitais apresentam um elevado gasto de energia elétrica no que diz respeito ao condicionamento de ar, iluminação, uso de motores e outros (tomógrafos, máquinas de raios-X, autoclaves, chuveiros elétricos, computadores, refrigeradores etc.) e também um grande consumo de água (lavanderia, cozinha, banheiros, bombeamento). A automação nos serviços de bombeamento, utilização de sensores na iluminação e no condicionamento de ar, uso de sistemas de condicionamento de ar e iluminação eficientes, reuso da água, aproveitamento da água da chuva, uso de

cogeração para horário de ponta, adequação tarifária são medidas necessárias para a efficientização do setor hospitalar (GARRIDO, [s.d.], p. 13).

### **Shopping Centers**

Em 2006, no Brasil, o setor de shopping centers alcançou um consumo mensal de energia elétrica de aproximadamente 430 milhões de kWh. Conforme dados fornecidos pela Associação Brasileira de Shopping Centers - Abrasce, o Brasil possuía, em outubro de 2006, 8.637.092 m<sup>2</sup> de Área Bruta Locável - ABL, distribuídos em 315 shopping centers que abrigavam 49.078 lojas, sendo o investimento médio anual destes estabelecimentos de 750 milhões de reais. Uma pesquisa realizada e publicada em 2005, pela equipe do LAB-RJ, do Procel Edifica e da Eletrobrás, afirma que os shopping centers podem ser considerados como um dos ramos do setor de comércio/serviço mais intensivos em consumo de energia, com indicadores de consumo mensal por área locável, ou seja, a área efetivamente dedicada às lojas, entre 30 e 70 kWh/m<sup>2</sup>. Assumindo em média consumo de 50 kWh/m<sup>2</sup> de área bruta locável, o consumo mensal de energia elétrica dos shopping centers brasileiros atinge o montante de 431.854.600 kWh por mês (PORTUGAL, 2007, p. 1-2).

Durante as décadas de 1960 e 1970, com o advento da indústria de shopping centers no Brasil, o modelo de negócio foi importado dos EUA, com características arquitetônicas de prédio fechado e isolado do exterior e totalmente iluminado e condicionado artificialmente. Na década de 1980 foram abertos os tetos dos *malls* permitindo a iluminação natural, minimizando a necessidade de iluminação durante o dia, porém cresceu-se em muito a carga elétrica devido aos sistemas de ar condicionado, cujas cargas térmicas aumentaram com esta nova modalidade de arquitetura. O estilo arquitetônico adotado não é pautado no bioclimatismo, o que aumenta significativamente os gastos com energia elétrica. Diminuir 10% do consumo de energia elétrica no setor de shopping centers no Brasil significa diminuir algo em torno de 40 milhões de kWh por mês no consumo (PORTUGAL, 2007, p. 1, 2, 6). No setor dos shopping centers 54% do uso da energia elétrica referem-se aos sistemas de climatização (ELETROBRÁS, 2008, p. 28).

A seguir algumas medidas serão listadas para que os shopping centers tornem-se mais eficientes (PORTUGAL, 2007, p. 5).

- ❖ Avaliação do prédio, sua localização e entorno em face do diagrama solar da cidade.
- ❖ Recomendação do uso de termoacumulação de água gelada ou de gelo nos sistemas de ar condicionado.
- ❖ Fechamento ou sombreamento dos vãos que permitem a insolação direta dentro do prédio, especialmente em áreas com ar condicionado.
- ❖ Utilização de equipamentos de iluminação que proporcionem maior eficiência (lâmpadas de alto rendimento luminoso).
- ❖ Setorização dos circuitos de iluminação.
- ❖ Uso de clarabóias voltadas para a direção sul, ou protegidas por beirais ou *brise-soleil* e localizadas ao longo do *mall* para substituir a iluminação artificial ao longo do dia.
- ❖ Análise da viabilidade da instalação de painéis fotovoltaicos como sistema adicional na geração de energia.
- ❖ Avaliação da cogeração mediante a instalação de turbinas movidas a gás para a geração de energia elétrica.
- ❖ Análise do sistema elétrico com a finalidade de implantação de subestações de média tensão junto aos centros de carga do prédio.
- ❖ Manutenção constante dos equipamentos para não haver perda de desempenho etc.

A maioria dos projetos de shopping centers brasileiros não considera a possibilidade de geração de conforto com soluções de ventilação natural, sendo que o condicionamento mecânico é utilizado na quase totalidade dos casos por total falta de conhecimento das possibilidades que a arquitetura pode proporcionar (PORTUGAL, 2007, p. 6).

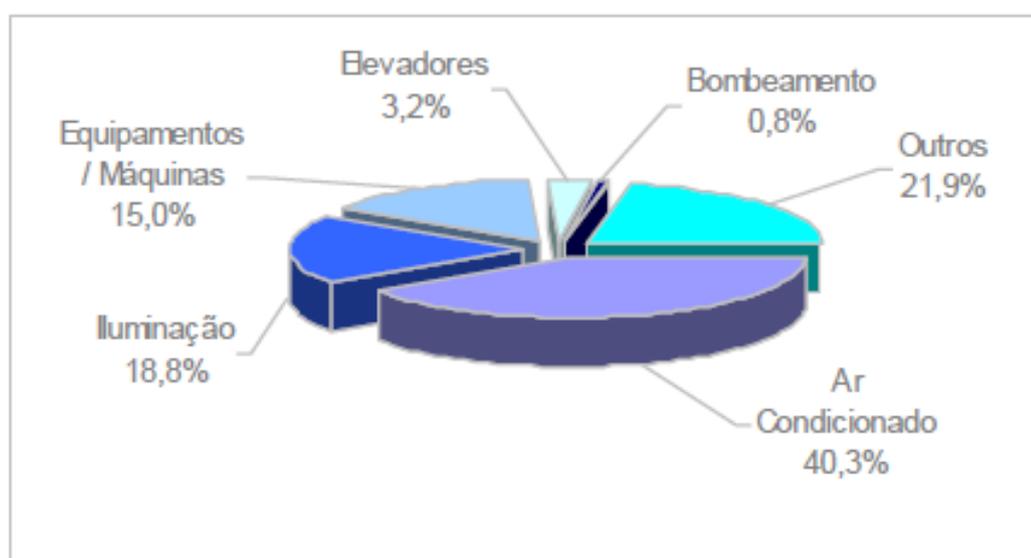
### **Hotéis**

De acordo com o estudo de Lima (2007, p. 36-37), Deng e Burnett, 1988, relatam que o setor hoteleiro apresenta peculiaridades com relação ao consumo energético em comparação a outros tipos de edificações comerciais (escritórios, lojas, shopping centers), pois possuem características de operação peculiar para diferente número e tipos de serviço oferecidos, como lavanderias, restaurantes, *business centers*, piscinas, entre outros. Ainda mais variações em relação às taxas

de ocupação durando o ano e as próprias preferências dos hóspedes quanto à temperatura interna de conforto podem influenciar no funcionamento da edificação, dos serviços e sistemas, gerando situações específicas de consumo de energia. Já Bohdanowicz e Martinac, em 2003, relatam que de acordo com o relatório do *Australian Government*, publicado em 2001, o setor hoteleiro mundial está cada vez mais dependente de grandes valores de energia elétrica e gás natural para oferecer serviços aos hóspedes. Mesmo assim, a implantação de programas de eficiência energética sofre ainda certa resistência, embora pesquisas comprovem que investimentos nessa área podem trazer benefícios também de ordem financeira.

## 5.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS SISTEMAS DE USO FINAL

Existe uma variedade de usos finais da energia elétrica nos setores comercial e de prédios públicos, como sistemas de ar condicionado, sistemas de iluminação, água quente, transporte vertical, equipamentos de escritório e bombas d'água. A Figura 19 apresenta a distribuição do consumo de energia elétrica brasileira do setor comercial por uso final (ELETROBRÁS, 2008, p. 23).



**Figura 19** – Distribuição do consumo de energia elétrica por uso final – Brasil  
– ano base 2005

Fonte: Eletrobrás, 2008, p. 23.

Nas próximas seções serão apresentadas soluções tecnológicas para aumentar a eficiência de alguns dos diversos sistemas de uso final existentes em uma edificação: iluminação, climatização, transporte vertical, bombeamento etc.

### **5.2.1 Sistema de Iluminação**

Do total de energia elétrica consumida no Brasil, 22% referem-se à iluminação, sendo distribuídos da seguinte forma: 14% no setor residencial, 6% no setor industrial, 22% no setor comercial, onde 24% do total destinam-se aos shopping centers (ELETROBRÁS, 2008, p. 28). Geller (1994 apud BRAGA, 2007, p. 52) afirma que as tecnologias em uso na iluminação de edificações são tipicamente ineficientes, criando uma grande possibilidade de redução com a aplicação de equipamentos mais eficientes.

No que diz respeito à questão de energia, o ponto inicial para se alcançar um sistema de iluminação energeticamente eficiente é a utilização da luz natural (RODRIGUES, 2002, p. 9).

A necessidade do uso de iluminação natural no edifício regula os pés-direitos, a profundidade das salas, a disposição do espaço de circulação, a necessidade de fontes de iluminação interior e, conseqüentemente, a eficiência da utilização da área disponível. Sua utilização pode afetar o arranjo funcional do espaço, o conforto visual e térmico dos ocupantes, a estrutura, o uso de energia na edificação, bem como o tipo e uso de iluminação elétrica e de sistemas de controle associados (SOUZA, 2009, p. 33).

Cada vez mais, os sistemas de iluminação mais modernos do mundo estão adotando o uso da iluminação natural. O Brasil possui características climáticas favoráveis, possuindo assim razões ainda maiores para utilizá-la em larga escala. Basicamente, a eficiência dos sistemas de iluminação artificial está atrelada às características técnicas, à eficiência e ao rendimento de um conjunto de elementos (lâmpadas, luminárias, reatores, circuitos de distribuição e controle etc.) A qualidade da luz é um fator decisivo no campo da iluminação influenciando no bem-estar do ser humano, no seu estado emocional e também no desempenho das suas atividades. Para o sucesso de uma instalação existem ferramentas muito importantes como o

conhecimento da luz e das alternativas disponíveis, além das técnicas para controlar a sua quantidade e qualidade (RODRIGUES, 2002, p. 4, 9, 10).

Em termos energéticos, uma iluminação eficiente é aquela que apresenta um consumo mínimo de energia elétrica, mantendo os padrões de conforto visual. De tal forma que a qualidade de um sistema de iluminação deva ser analisada em relação a sua adequação às atividades desenvolvidas, mantendo níveis de luminosidade suficientes e bem distribuídos, não apresentando áreas de ofuscamento ou sombras. A norma NBR 5413:1992 - Iluminância de interiores, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), determina os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço que devem ser considerados em projetos de iluminação artificial, de acordo com as especificações das atividades realizadas no local. É o primeiro indicativo da qualidade dos sistemas de iluminação. Deve-se verificar também a uniformidade da luminosidade e o ofuscamento, a fim de avaliar a qualidade dos sistemas de iluminação (BRAGA, 2007, p. 53).

#### *5.2.1.1 Componentes do Sistema de Iluminação*

O sistema de iluminação é composto por lâmpadas, reatores e luminárias. A lâmpada é o elemento irradiador de luz. Os reatores são equipamentos responsáveis pela ignição e controle da intensidade da corrente das lâmpadas de descarga. Já as luminárias alteram a distribuição espacial do fluxo luminoso gerado pelas lâmpadas, de forma a direcionar e distribuir a luz, podendo maximizar ou minimizar o fluxo luminoso conforme as suas características (BRAGA, 2007, p. 55; RODRIGUES, 2002, p. 16).

#### **Lâmpadas**

As lâmpadas são fontes luminosas de origem elétrica e são geralmente classificadas conforme o fenômeno que gera o fluxo luminoso (combustão, incandescência, descarga elétrica, eletroluminescência etc.) (MOREIRA, 1999, p. 51). As lâmpadas com filamento convencional ou halógenas produzem luz pela incandescência, às de descarga utilizam a luminescência e os diodos fazem uso da fotoluminescência. Existem também as que combinam incandescência e luminescência denominadas mistas e as lâmpadas fluorescentes que aproveitam da

luminescência e da fotoluminescência (RODRIGUES, 2002, p. 11). Assim, podem ser classificadas de acordo com o seu princípio de funcionamento em:

- incandescente, convencional ou halógena;
- mista;
- descarga, de baixa ou alta pressão.

Em um sistema de iluminação artificial, a eficiência luminosa e a vida útil são os parâmetros que mais contribuem para a eficiência energética (RODRIGUES, 2002, p. 11). Já a temperatura de cor e a fidelidade da reprodução de cores (IRC) são características da fonte luminosa que determinam a qualidade dos sistemas de iluminação. A temperatura de cor é a aparência da fonte luminosa, sendo chamada em lâmpadas de descarga de temperatura de cor correlata e a fidelidade da reprodução de cores expressa a capacidade com que a fonte luminosa reproduz as cores (BRAGA, 2007, p. 55).

As lâmpadas incandescentes tradicionais são constituídas de um filamento espiralado, que é levado à incandescência através da passagem da corrente elétrica, confinado em um tubo de vidro em vácuo (MOREIRA, 1999, p. 51). Apenas 10% da energia consumida é convertida em luz visível, os 90% restantes são dissipados na forma de calor, sendo consideradas as lâmpadas menos eficientes no que diz respeito à economia de energia (SILVA, 2004, p. 25). Já a lâmpada halógena é basicamente uma lâmpada incandescente com bulbo de quartzo, onde se adiciona, internamente ao bulbo, um elemento halógeno, iodo ou bromo, realizando o chamado ciclo do halogênio. O tungstênio evaporado do filamento combina-se com o halogênio presente. Esta combinação associada à corrente térmica dentro da lâmpada, faz com que as partículas depositem-se novamente no filamento, criando assim o ciclo regenerativo do halogênio, permitindo que o rendimento luminoso da lâmpada seja mantido constante durante a maior parte da sua vida (MOREIRA, 1999, p. 58; RODRIGUES, 2002, p. 12).

A lâmpada mista é composta por vapor de mercúrio em alta pressão, confinado em um tubo de descarga. Sua ignição é realizada por um filamento conectado em série com o tubo. Já foram bastante utilizadas em substituição das incandescentes na iluminação pública, por apresentarem maior fluxo luminoso e menor consumo de energia elétrica. Sendo substituídas pelas lâmpadas de vapor de

sódio que apresentam menor consumo energético, comparadas às incandescentes (ALVAREZ, 1998 apud BRAGA, 2007, p. 57).

A lâmpada fluorescente tubular, de baixa pressão, possui um bulbo cilíndrico de vidro revestido de material fluorescente, contendo vapor de mercúrio à baixa pressão e eletrodos de tungstênio, sendo acionadas por reatores que fornecem a tensão necessária ao início da descarga. Quando ligada, a passagem de corrente elétrica através dos filamentos causa o aquecimento e a liberação de elétrons. Esses elétrons se movimentam de um catodo para o outro rapidamente, estabelecendo uma descarga elétrica no vapor de mercúrio. A contínua colisão de elétrons com os átomos de mercúrio produz o ultravioleta, que é convertido em luz visível pelo fósforo. Emitem menos calor e apresentam maior fluxo luminoso. As mais eficientes são as tubulares de diâmetro T 5 (14, 28, 54 e 80 W), possuem revestimento de pó trifósforo e são mais compactas (RODRIGUES, 2002, p. 14).

A lâmpada fluorescente compacta (LFC) possui maior eficiência, maior vida útil, gera menos calor, quando comparada à lâmpada incandescente, possui excelente reprodução de cores, design moderno e leve etc. (RODRIGUES, 2002, p. 13). Normalmente, os programas de eficiência energética incentivam o uso de LFC, pois apresentam um custo energético baixo, porém causam interferência na rede elétrica de modo a reduzir a qualidade da energia elétrica, conforme apresentado no Quadro 1.

<b>Equipamento</b>	<b>Benefício - Eficiência Energética</b>	<b>Efeito - Qualidade de Energia</b>
Lâmpadas Fluorescentes	Economia de energia	Gera harmônico; Reduz o fator de potência da instalação.
Banco de Capacitores	Melhoria do fator de potência	Gera transitório; Amplifica harmônicos.
Controle da Iluminação através de Dimmers	Melhoria do fator de carga	Reduz fator de potência; Gera harmônico; Melhora a tensão de regime permanente.

**Quadro 1** – Eficiência energética *versus* qualidade de energia

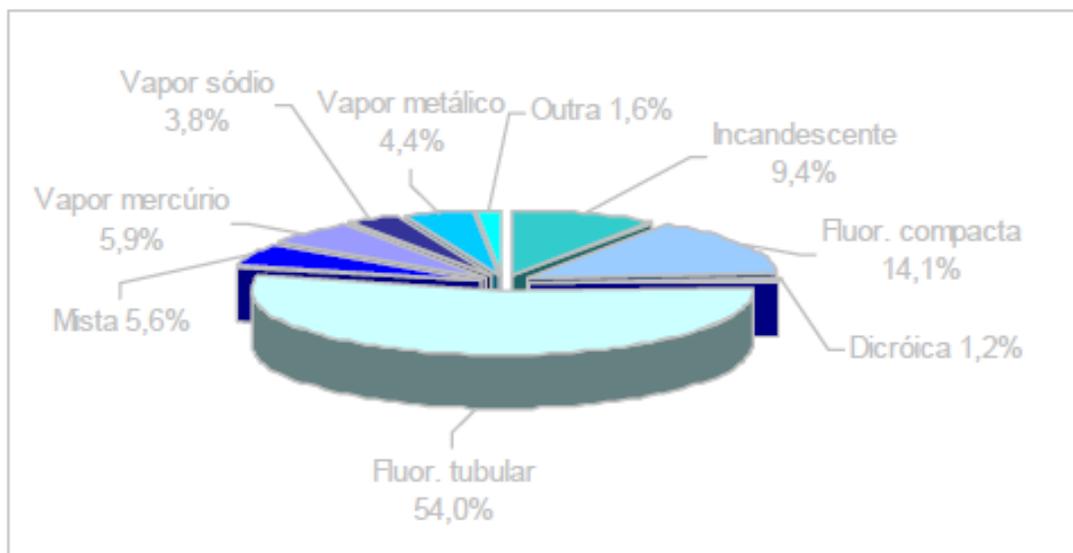
Fonte: Procel, 2001 apud Braga, 2007, p. 81.

Outra lâmpada muito utilizada na iluminação pública é a lâmpada de vapor de mercúrio. A lâmpada de vapor de mercúrio é formada de um tubo de descarga feito de quartzo, para suportar elevadas temperaturas, tendo em cada extremidade um eletrodo principal, constituído por uma espiral de tungstênio recoberta com material emissor de elétrons. Junto a um dos eletrodos principais existe um eletrodo auxiliar, ou de partida, ligado em série com um resistor de partida, externo ao tubo de arco. O meio interno contém gás inerte, que facilita a formação da descarga inicial, e gotas de mercúrio, que serão vaporizadas durante o período de aquecimento da lâmpada. Quando uma tensão elétrica, de valor adequado, é aplicada à lâmpada, cria-se um campo elétrico entre o eletrodo auxiliar e o principal, adjacente. Forma-se um arco elétrico entre eles, provocando o aquecimento dos óxidos emissores, a ionização do gás e a formação de vapor de mercúrio. Apresentam IRC baixo e um alto tempo de re-acendimento e estabilização, em torno de cinco minutos.

As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão possuem alta eficiência luminosa e grande durabilidade. Por possuírem IRC baixo são indicadas para aplicações que não exijam fidelidade de cor, como a iluminação pública.

As lâmpadas de multivapores metálicos, denominadas metálicas, possuem bons índices de IRC, alto rendimento luminoso e grande vida útil, sendo utilizadas na iluminação de ambientes externos e internos com pé direito alto.

A Figura 20 apresenta sistemas de iluminação internos e externos em edifícios comerciais, destacando a preferência pelo uso de lâmpadas fluorescentes tubulares (ELETROBRÁS, 2008, p. 83).



**Figura 20** – Iluminação geral em edificações comerciais – Brasil – ano base 2005

Fonte: Eletrobrás, 2008, p. 83.

### **Reatores**

São equipamentos auxiliares utilizados no acendimento de lâmpadas de descarga e têm a finalidade de adequar as tensões e limitar a corrente para que a lâmpada funcione de forma adequada (PHILIPS, 2005, p. 16).

A aplicação correta dos reatores contribui, de maneira direta, na manutenção do fluxo luminoso e na vida útil da lâmpada garantindo um melhor desempenho dos projetos elétricos e luminotécnicos (PHILIPS, 2005, p. 16). Entre os dois tipos principais de reatores, eletromagnéticos e eletrônicos, o mais eficiente é o reator eletrônico. Dissipam 30% menos energia que os reatores eletromagnéticos (ALVAREZ, 1998 apud BRAGA, 2007, p. 60).

Os reatores eletromagnéticos podem ser constituídos por um núcleo laminado de aço silício, com baixas perdas, ou de ferro, bobinas de fio de cobre esmaltado e capacitores com a intenção de corrigir o fator de potência. Algumas de suas características são indesejáveis para projetos que visem à eficiência energética, dentre elas estão: perdas elétricas, emissão de ruído audível, efeito flicker e carga térmica. Em 2005, sua fabricação foi interrompida nos Estados

Unidos, Europa e Japão, devido às exigências dos programas de conservação de energia desses países (OSRAM, 2007 apud BRAGA, 2007, p. 61).

Já os reatores eletrônicos trabalham em uma faixa de frequência que varia de 20 kHz a 50 kHz; assim, acabam liberando harmônicas na rede elétrica. São produtos que minimizam os gastos energéticos e possuem uma eficiência maior do que os reatores eletromagnéticos, pois nesta faixa de operação, o fluxo luminoso é maior com uma menor potência consumida. São formados por indutores para alta frequência, capacitores, resistores, circuitos integrados dentre outros componentes eletrônicos. Para que se realize um bom projeto é necessário considerar a qualidade do produto levando-se em consideração aspectos como o fator de potência e a distorção harmônica. Existem reatores de alto desempenho que possuem filtros acoplados, apresentando uma taxa reduzida de distorção harmônica (BRAGA, 2007, p. 61).

Existem também os reatores dimerizáveis que permitem um ajuste do fluxo luminoso emitido pela lâmpada, conforme o nível de luz natural. Ao ser conectado a sensores de intensidade luminosa, este ajuste pode ser realizado automaticamente, gerando uma redução de até 70% do consumo de energia elétrica, quando comparados os reatores eletrônicos com os eletromagnéticos (OSRAM, 2007 apud BRAGA, 2007, p. 62).

### **Luminárias**

Contribuem de forma direta para uma eficiente distribuição da luz no ambiente e para o conforto visual tendo papel extremamente importante em um sistema de iluminação. As luminárias devem proporcionar uma correta emissão do fluxo luminoso sem ocasionar ofuscamento (PHILIPS, 2005, p. 32). Ao escolher uma luminária deve-se considerar sua eficiência luminosa, capacidade de controle de ofuscamento, coeficiente de utilização e a distribuição de luz desejada no ambiente (BRAGA, 2007, p. 62).

A eficiência de uma luminária está relacionada com a otimização do desempenho do sistema de iluminação. Esta eficiência é determinada por meio da relação entre a luz emitida pela luminária e a emitida pela lâmpada, pois quando a lâmpada emite a luz uma parte vai para o espaço e a outra é absorvida pela luminária. Alguns fatores, como o modo que o brilho é controlado pela luminária e a

propagação dos lúmens que alcançam o plano de trabalho, devem ser levados em consideração para se determinar o valor da fração de luz emitida pela luminária. Os principais componentes de uma luminária, que podem alterar o seu desempenho, são: refletores, refratores, difusores etc. Os refletores são dispositivos que servem para alterar a distribuição espacial do fluxo luminoso. Possuem perfis circulares, parabólicos, elípticos ou assimétricos. Podem ser construídos de vidro ou plástico espelhado, alumínio polido, chapa de aço esmaltado ou pintada de branco. Os refratores modificam a distribuição do fluxo luminoso de uma fonte utilizando o fenômeno da transmitância. Na maioria das luminárias é utilizado para vedação, protegendo a parte interna contra poeira, chuva, poluição e impactos. Já os difusores são elementos translúcidos, foscos ou leitosos, que ficam em frente a fonte luminosa com o objetivo de diminuir a sua luminosidade, reduzindo as possibilidades de ofuscamento (RODRIGUES, 2002, p. 17-18).

### **5.2.2 Projeto Eficiente de Iluminação**

Um bom projeto de iluminação deverá englobar aspectos relacionados à adequação de dimensionamento e forma das aberturas para aproveitamento do uso da iluminação natural e fará uso de sistemas de iluminação artificial para obter níveis adequados de claridade para desenvolvimento das tarefas requeridas no ambiente, complementando os níveis obtidos com a luminosidade natural, visando ainda conservar energia e diminuir o aporte de calor pelas luminárias (SOUZA, 2009, p. 32).

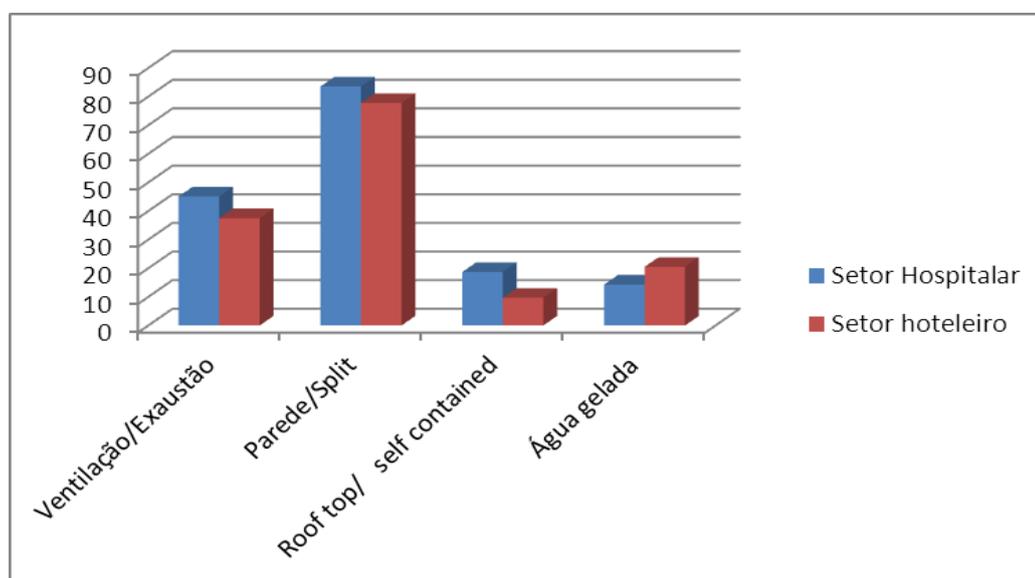
Nos projetos luminotécnicos existem objetivos que necessitam ser alcançados. A depender de como será utilizado o ambiente e da duração do trabalho que está sendo realizado nele, deve-se estabelecer o seu nível de iluminância baseado em normas técnicas brasileiras e internacionais. As refletâncias, o sentido da visão e a composição espectral da luz que ilumina um objeto são fatores que influenciam na percepção que um indivíduo tem da cor desse objeto. Dessa forma, para um projeto de iluminação eficiente, é fundamental que se obtenha uma reprodução correta não só das cores dos objetos, mas também dos ambientes que serão iluminados. Outro ponto importante que deve ser levado em consideração é a escolha dos equipamentos que o compõem. Deve-se escolher com muito cuidado as lâmpadas, que é o principal elemento do sistema, e os outros componentes a serem

empregados. Requisitos como o nível de iluminação necessária para o ambiente em questão, controle do ofuscamento, uniformidade, reprodução de cores, economia de energia e estética devem ser considerados (PHILIPS, 2005, p. 42).

### 5.2.3 Sistemas de Climatização e Conforto Ambiental

Um sistema de climatização de ambientes deve ser capaz de tratar o ar de forma a manter a sua temperatura ajustada, podendo ainda, controlar sua umidade relativa e pureza, e a pressão no interior do ambiente (BRAGA, 2007, p. 64).

Nos setores hospitalar e hoteleiro, os sistemas de ar condicionado mais utilizados são apresentados na Figura 21 (ELETROBRÁS, 2008, p. 68-69).



**Figura 21** – Sistemas de ar condicionado mais utilizados nos setores hospitalar e hoteleiro – Brasil – ano-base 2005

Fonte: Eletrobrás, 2008, p. 68-69, adaptado pela autora.

#### 5.2.3.1 Cargas Térmicas

As cargas térmicas de uma edificação podem ser de ordem climática, humana ou arquitetônica.

Para dimensionar um sistema de resfriamento ou aquecimento de um determinado ambiente é necessário conhecer a carga térmica característica do ambiente, que representa a quantidade de calor a ser extraída ou fornecida ao ar

para mantê-lo sob as condições desejáveis de temperatura e umidade (BRAGA, 2007, p. 64).

### 5.2.3.2 Ventilação

A ventilação retira a energia térmica que é produzida no interior de um ambiente por equipamentos, pessoas, dentre outros, onde o ar é injetado com o intuito de controlar sua temperatura tendo como parâmetro limite a temperatura do ar externo, não sendo possível, neste caso, estabelecer um valor fixo de temperatura. A renovação do ar, proporcionada pela ventilação, mantém o ambiente livre de odores e impurezas indesejáveis (LAMBERTS et al. apud BRAGA, 2007, p. 65).

### 5.2.3.3 Sistemas de Condicionamento de Ar

Tratam o ar adequando suas características de pureza, umidade, temperatura e movimentação, independentemente das condições climáticas exteriores.

Uma grande oportunidade para que os sistemas de condicionamento de ar e componentes possam ser substituídos para que se obtenha uma melhor eficiência, é o *retrofit* de instalações antigas. Entretanto, no decorrer do projeto de uma nova edificação, algumas medidas de racionalização do uso da energia devem ser consideradas. Além de diminuir o consumo, haverá uma melhoria nas condições de conforto das edificações com a adoção de equipamentos e componentes eficientes (PENA, 2002).

#### 5.2.3.3.1 Classificações dos Sistemas de Condicionamento de Ar

De acordo com a forma com que estes sistemas realizam a troca de calor com o ar, podem ser classificados como (BRAGA, 2007, p. 66):

#### ❖ **Sistemas de Expansão direta**

O ar perde calor de maneira direta ao ser insuflado no ambiente que está sendo climatizado. O fluido é diretamente resfriado pelo fluido refrigerante. Estes sistemas podem ser divididos em:

- **Vazão de Ar Constante**

Nestes sistemas mesmo em momentos onde pequenas cargas térmicas são requisitadas o consumo de energia se manterá constante. Por esta razão, o sistema em questão vem sendo cada vez menos utilizado.

- **Vazão de Ar Variável**

Por sua característica de se adequar às variações de carga térmica, estes sistemas de volume de ar variável (VAV), geram uma economia no consumo de energia elétrica levando a um aumento em sua utilização. Podem ser subdivididos em:

- Aparelhos tipo janela (*split* e *self contained*) – utilizados em instalações de pequena e média capacidade;
- *Chillers* (compressores parafuso, alternativos ou centrífugos) – utilizados em instalações de média e alta capacidade.

Os aparelhos tipo janela restringem-se a ambientes pequenos onde a exigência na movimentação e a qualidade do ar ou no nível de ruído emitido sejam baixas, sendo os mais simples e compactos. Quando a temperatura almejada é alcançada ele desliga o compressor, pois estes equipamentos são dotados de um termostato que realiza o controle da temperatura. Devem ser instalados diretamente no ambiente climatizado em uma parede externa. Possui capacidades que variam entre 7.500 a 30.000 BTU/h ou 2,2 KW a 8,8 KW. Os aparelhos janela tipo *split* são compostos por duas unidades diferentes. O condensador, que deve ser instalado externamente ao ambiente que será condicionado, e o evaporador, que pode ser instalado em uma casa de máquinas, ou ainda, diretamente no ambiente a ser condicionado. Caso seja instalado em uma casa de máquinas, dutos de insuflamento conduzirão o ar refrigerado para os ambientes que deverão ser climatizados. O fluido refrigerante é bombeado pelo condensador até o evaporador que é responsável pela refrigeração do ar que será ventilado. Quando comparados com os equipamentos tipo janela, os *split* apresentam um nível de ruído menor, e suas capacidades vão de 7.500 a 60.000 BTU/h ou 2,2 kW a 17,6 kW. Geralmente, os aparelhos janela *self contained* possuem uma rede de dutos destinados a atender capacidades maiores, podendo ser de condensação a água ou ar. As características dos sistemas de

condensação a ar são as mesmas dos *multi-split*, que são condicionadores compactos. Nos equipamentos de condensação a água, para a refrigeração do ar externo, é requerida uma linha alimentadora de água. Mediante a utilização de bombas, esta água é normalmente re-circulada e, posteriormente, em uma torre de resfriamento, ela é resfriada. A capacidade dos aparelhos tipo *self contained* variam de 5 a 18 TR ou 17,6 a 64,3 kW (BRAGA, 2007, p. 66-67).

#### ❖ **Sistemas de Expansão Indireta**

Quando o fluido que é utilizado como refrigerante do ar é a água, que, em um circuito de compressão, é resfriada por um *chiller*. A seguir, serão apresentados, os principais equipamentos para os sistemas de expansão indireta (BRAGA, 2007, p. 67).

- **Fan-coils:** são equipamentos responsáveis por refrigerar o ar que é insuflado no recinto. Constituídos por uma serpentina de tubos aletados e um ventilador que tem com finalidade circular, de forma contínua, o ar por entre a serpentina que contém água gelada. O calor é trocado com a água do sistema quando o ar circula.
- **Chillers:** são equipamentos que tem por finalidade resfriar a água utilizando condensadores, compressores, dispositivos de expansão e evaporadores. Existem alguns tipos de compressores, sendo que, os mais encontrados são: centrífugos, alternativos, caracol, de palhetas ou de parafusos.
- **Bombas de Água Gelada:** além de proporcionar pressão na tubulação de água, estes equipamentos também são usados para movimentar a água.
- **Ventiladores e Exaustores:** são máquinas de fluxo cuja finalidade é remover e insuflar o ar do ambiente climatizado.

- **Torres de Resfriamento:** a energia térmica da água que circula pelo condensador do *chiller* é removida por este equipamento. Nessas torres ocorre uma troca de calor com o ar atmosférico. Sobre a água do condensador nas torres de resfriamento, ventiladores executam a circulação do ar atmosférico.

#### 5.2.3.3.2 Eficiência nos Sistemas de Condicionamento de Ar

Ao realizar uma análise em edificações já existentes, verifica-se que alguns fatores interferem no consumo de energia elétrica dos sistemas de condicionamento de ar, tais como: o dimensionamento correto do sistema; as condições de isolamento térmica dos ambientes e equipamentos; a tecnologia de refrigeração utilizada; os hábitos de uso e a manutenção.

A razão de eficiência energética ou taxa de eficiência energética, *Energy Efficiency Rate* (EER), é uma das formas de se indicar a eficiência de um sistema de condicionamento de ar. Por meio dessa taxa obtêm-se a relação entre o fluxo de calor retirado do ambiente e a potência elétrica demandada. É dada pela Equação 5, sendo expressa em BTU/h/Watts (BRAGA, 2007, p. 70):

$$EER = \frac{\text{Capacidade de Refrigeração}}{\text{Demanda Média do Aparelho}} \text{ (BTU/h/W)} \quad (\text{Eq. 5})$$

Na Tabela 18 são mostrados os valores de EER típicos de aparelhos de condicionamento de ar.

**Tabela 18** – Valores típicos de EER de alguns aparelhos de condicionamento de ar

<b>Tipo de Equipamento</b>	<b>Capacidade (Btu/h)</b>	<b>Compressor</b>	<b>EER (Btu/h/W)</b>
Aparelho de janela	15.000	Alternativo	7.9
Aparelho de janela	18.000	Rotativo	9.5
Aparelho de janela	30.000	Rotativo	9.7
Split	40.000	Alternativo / Rotativo	7.2
Split	90.000	Scroll	13.0
Self contained a ar	90.000	Scroll	7.3
Self contained a água	100.800	Scroll	10.6
Central (chiller)	430.800	Alternativo	9.6
Central (chiller)	2.395.200	Alternativo	9.3

Fonte: Marques et al., 2001 apud Braga, 2007, p. 70.

Outras medidas que são capazes de aumentar a eficiência dos equipamentos atuais, além da substituição por sistemas mais eficientes, são (MARQUES et al., 2001):

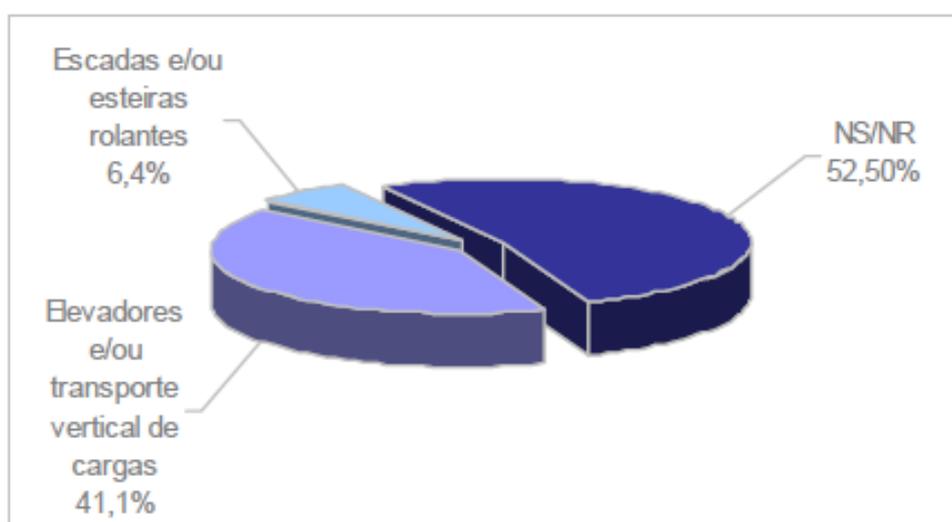
- instalação de proteções para evitar a insolação direta dos condensadores e, conseqüentemente, a elevação da temperatura de condensação do fluido circulante no condensador;
- programa de manutenção periódica, com o intuito de evitar acumulação de sujeira nas superfícies que fazem a troca de calor e a obstrução do fluxo de ar de saída dos evaporadores;
- instalação de juntas de vedação em janelas e portas;
- instalação de persianas exteriores ou *brise-soleil* que realizem o envelopamento da edificação, impedindo sua insolação direta;

- instalação de materiais que sejam bons isolantes térmicos nos telhados e paredes da edificação, reduzindo, assim, troca de calor com o meio externo.

#### 5.2.4 Sistemas de Elevadores

Os elevadores são destinados ao transporte de cargas ou de pessoas na direção vertical, sendo descrito como um carro fechado, que impulsionado por um motor, move-se por meio de um cabo de aço, equilibrado por um contrapeso. O primeiro elevador elétrico foi construído por Werner Von Siemens em 1880, e apesar do tempo, o sistema básico de deslocamento sofreu pequenas alterações. Já os sistemas de controle sofreram profundas alterações. Novos atributos foram incorporados aos elevadores como botões nas cabinas e nos andares, acionamento e desaceleração automáticos, e uma velocidade maior de deslocamento levando aos sistemas de controle unificados. Uma análise no projeto e na operação dos sistemas de elevadores é extremamente importante para permitir a escolha de alternativas que gerem redução de custos e tempos, tendo em vista a importância de tais sistemas para as edificações (SILVA, 2006, p. 36).

A Figura 22 apresenta a posse de elevadores e/ou transporte vertical de cargas por significativo percentual das instalações comerciais (ELETROBRÁS, 2008, p. 74).



**Figura 22** – Instalações comerciais que dispõem de transporte vertical – Brasil – ano base 2005

Fonte: Eletrobrás, 2008, p. 74.

#### 5.2.4.1 Medidas de Redução do Consumo de Energia Elétrica

Atualmente, ao se pensar em tecnologia aplicada em transporte vertical é imprescindível a análise do impacto da energia elétrica consumida pelos elevadores. O segmento de elevadores de passageiros tem sofrido transformações profundas. Com uma série de novas tecnologias e opcionais agregados, os equipamentos estão cada vez mais inteligentes e sofisticados para suprir as necessidades de conforto, segurança e sustentabilidade das novas edificações. Modelos que dispõem de casas de máquinas, sistemas com acionamentos regenerativos de energia e sistemas antecipadores de chamadas são algumas das principais novidades do setor. Isso sem considerar a já consolidada tecnologia de variação de velocidade e frequência nominal, que permite aos condomínios uma economia da ordem de 35% de energia elétrica (CICHINELLI, 2010). Outra novidade é a iluminação das cabinas com lâmpadas LED.

No passado o projetista especificava os elevadores considerando basicamente a sua capacidade e a velocidade, com base no cálculo de tráfego da norma ABNT 5665. Entretanto, hoje a preocupação com a eficiência, tanto no atendimento ao tráfego vertical quanto ao consumo de energia elétrica, é cada vez maior (CICHINELLI, 2010).

O sistema regenerativo filtra a energia produzida pelo elevador em movimentação e a devolve à rede do próprio condomínio, para movimentar outros elevadores ou para a utilização da edificação de um modo geral (iluminação, ar condicionado etc.), proporcionando uma economia significativa de energia, a qual poderá ser devolvida à rede elétrica, aproximadamente, 25 a 35% da energia consumida pelo elevador (FREITAS, 2010).

Os elevadores sem casa de máquinas são uma forte tendência comercial, pois ampliam a área útil da construção, além de terem um excelente desempenho com máquinas sem engrenagens. As *gearless* (máquinas sem engrenagens) representam a mais nova tecnologia em motores para elevadores. Melhora o desempenho do elevador e ajuda a preservar a natureza, pois dispensam o uso de óleos lubrificantes, reduzindo o risco de vazamentos, além do problema de descartar o óleo (TECNOLOGIA..., 2010, p. 2).

Já o sistema de distribuição de chamadas e antecipação de destino é utilizado principalmente em prédios comerciais, onde o fluxo de passageiros é

intenso. O sistema aumenta a capacidade de tráfego de um conjunto de elevadores, proporcionando uma economia de até 30% de energia. Por meio de um terminal inteligente, o passageiro informa, antes de entrar no elevador, o andar para o qual deseja ir. O sistema indica então a qual elevador ele deverá se dirigir, agrupando no mesmo elevador, todos os passageiros que irão para o mesmo andar ou para andares próximos, o que reduz o tempo que os equipamentos estão operando e conseqüentemente, a energia consumida, pois o destino do passageiro é previamente conhecido. Garante-se maior conforto, por conta da diminuição do tempo de espera nos andares e de viagem na cabina (FREITAS, 2010).

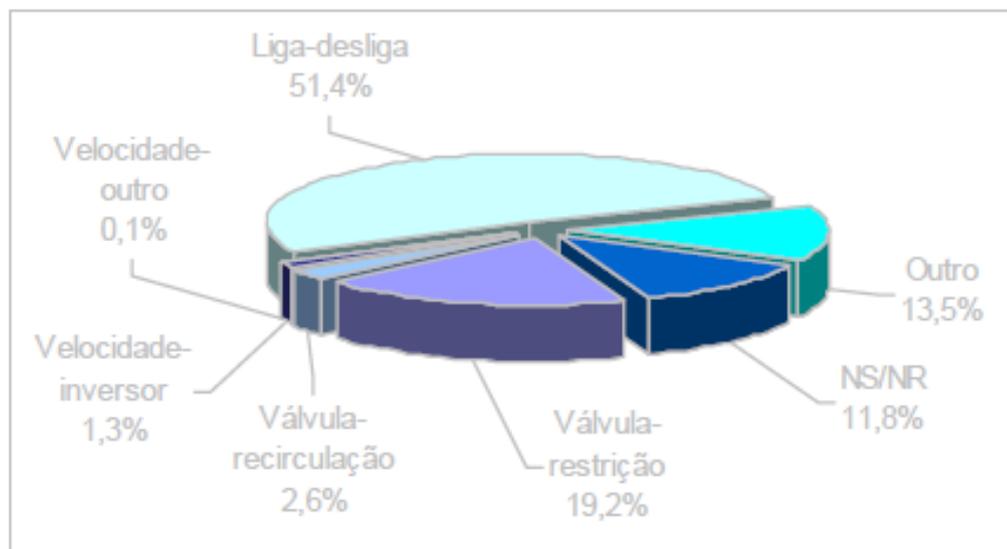
### **5.2.5 Sistemas de Bombeamento**

Ao se projetar uma instalação, o último a ser especificado é o conjunto motor-bomba ou motor-ventilador. Para determinar a altura total de elevação para bombas ou a diferença de pressão total para o caso de ventiladores é necessário conhecer ou especificar o diâmetro do tubo, a vazão e as perdas de carga na linha. A seleção do conjunto ocorre por meio da vazão e altura total de elevação ou a diferença total de pressão mais a rotação (SILVA, 2006, p. 27).

Selecionar adequadamente a bomba ou o ventilador do motor responsável pelo acionamento, além do sistema de controle e acoplamento, é imprescindível para que se obtenha um menor consumo de energia (SILVA, 2006, p. 27). Geralmente, utilizam-se motores de indução para acionamentos das bombas, pois são confiáveis, eficientes e robustos (DUTRA, 2005, p. 4).

A eficiência de um sistema de bombeamento inicia-se pelo tipo de controle operacional selecionado para as operações de liga/desliga das elevatórias. Além dos controladores lógico programáveis, usados nas estações de grande porte, também são utilizados os sistemas de pressostato, chaves-bóia e pressostato-timer, ou outra combinação entre si desses elementos. Outra opção é utilizar um variador de velocidade do motor, que fará com que a bomba opere em pontos diferentes, conforme a demanda ao longo do ciclo diário de abastecimento. Qualquer que seja a opção adotada, a regra é procurar fazer com que a bomba trabalhe o mais próximo possível do seu ponto de melhor rendimento, sem que ocorra extravasamento no reservatório nem seu esvaziamento total (MONACHESI, [2005], p. 84-85).

Segundo a pesquisa da Eletrobrás/Procel (2008), o sistema de controle mais utilizado nos sistemas de bombeamento é o sistema liga-desliga, conforme apresenta a Figura 23 (ELETROBRÁS, 2008, p. 82).



**Figura 23** – Controles predominantes nos sistemas de bombeamento – Brasil – ano base 2005

Fonte: Eletrobrás, 2008, p. 82.

Para otimizar o consumo de energia elétrica em sistemas de bombeamento hidráulico é necessário, inicialmente, realizar um estudo das características do sistema elevatório, ou seja, as cotas de elevação, tubulações e acessórios. Em seguida, levantar os outros parâmetros, como vazão de projeto e o tempo de funcionamento da bomba, pois indicarão o tipo de bomba e os custos de operação do sistema completo. Resumidamente, deve-se: dimensionar as tubulações de forma a minimizar as perdas de carga; especificar a bomba para funcionar o mais próximo ao rendimento máximo; evitar o superdimensionamento do motor e não utilizar válvula para o controle da vazão. Considerando-se a vazão e as perdas de carga do projeto, a bomba especificada deverá trabalhar nas proximidades de seu rendimento máximo. O motor, que tem como carga a potência consumida pela bomba, deverá operar na região de pouca variação de seu rendimento, entre 75 a 100% de sua carga nominal. O bom desempenho do sistema motor-bomba acarretará redução do consumo de energia elétrica do sistema completo (DUTRA, 2005, p. 18).

A Tabela 19 apresenta oportunidades de economia nos sistemas de bombeamento.

**Tabela 19** – Oportunidades de economia em sistemas de bombeamento

ÁREAS PARA MELHORIA	ENERGIA ECONOMIZADA
Uso final da água	até 70%
Redução de vazamentos	15%
Melhoria da rugosidade	15%
Melhoria do rendimento do motor	5%
Melhoria do rendimento da bomba	5%
Variadores de velocidade	27%

Fonte: Monachesi, [2005], p. 20.

#### 5.2.5.1 Controle de Velocidade

##### ❖ Sistemas de Velocidade Variável

Um acionamento elétrico é um sistema capaz de converter energia elétrica em mecânica, mantendo sob controle tal processo de conversão. Normalmente são utilizados para acionar máquinas ou equipamentos que requerem algum tipo de movimento controlado, como por exemplo, a rotação de uma bomba. Normalmente, um acionamento elétrico moderno é formado pelo conjunto dos seguintes componentes (MASCHERONI, [s.d.], p. 9):

- **motor:** converte energia elétrica em energia mecânica;
- **dispositivo eletrônico:** comanda e/ou controla a potência elétrica entregue ao motor;
- **transmissão mecânica:** adapta a velocidade e inércia entre o motor e a máquina (carga).

Os motores utilizados em larga escala nos acionamentos elétricos são os de indução monofásicos e trifásicos. Estes motores, quando alimentados com tensão e frequência constantes, sempre que não estejam operando a plena carga (potência da carga igual à potência nominal do motor) estarão desperdiçando energia. É importante ressaltar também o fato de que um motor de indução transforma em energia mecânica aproximadamente 85% de toda a energia elétrica que recebe e que os 15% restantes são desperdiçados, sendo assim o acionamento elétrico de

máquinas é um assunto de extraordinária importância no que se refere à economia de energia (MASCHERONI, [s.d.], p. 9).

Na década de 1980, com o desenvolvimento de semicondutores de potência com excelentes características de desempenho e confiabilidade, foi possível a implementação de sistemas de variação de velocidade eletrônicos. O dispositivo de conversão de energia elétrica continua sendo o motor de indução, mas agora sem a utilização de dispositivos secundários mecânicos, hidráulicos ou elétricos. Estes sistemas eletrônicos de variação contínua de velocidade proporcionam, entre outras, as seguintes vantagens (MASCHERONI, [s.d.], p. 10):

- economia de energia;
- melhoramento do desempenho de máquinas e equipamentos, devido à adaptação da velocidade aos requisitos do processo;
- eliminação do pico de corrente na partida do motor;
- redução da frequência de manutenção dos equipamentos etc.

Estes novos dispositivos eletrônicos para variação de velocidade de motores de indução são denominados Inversores de Frequência. Na aplicação dos inversores de frequência o motor de indução, ao contrário do que acontece quando ligado à rede de distribuição de energia elétrica, é alimentado com frequência e tensão variável, possibilitando obtenção de velocidade variável no eixo do próprio motor. Outra característica importante é que a corrente de partida é praticamente da ordem da corrente nominal, e que alimentando o motor a partir de 3 ou 4 Hz pode-se obter no rotor um torque de 150% do nominal, suficiente para acionar qualquer carga acoplada ao motor (MASCHERONI, [s.d.], p. 12, 58).

#### *5.2.5.2 Economia de Energia utilizando Controladores de Velocidade*

No controle de velocidade de motores de indução para acionar bombas e ventiladores, a utilização de inversores de frequência vem ganhando mais espaço (SILVA, 2006, p. 27).

Substituindo os métodos tradicionais de controle de fluxo pelo controle de velocidade dos motores, é possível adequar e otimizar as condições de operação, para cada valor de vazão desejado, em bombas ou ventiladores, gerando redução

de ruídos, desgastes mecânicos e perdas. Em motores com rotor em gaiola podem ser empregados inversores de frequência e controle de tensão, já para o caso de motores de indução com rotor bobinado utiliza-se cascata subsíncrona e variação da resistência rotórica. O nível de harmônicos que são gerados pelos sistemas de controle de velocidade deve receber atenção especial, sendo importante, para casos críticos, a utilização de filtros especiais. A utilização de válvulas de controle nas bombas e *dampers* nos ventiladores, para controlar o fluxo de fluidos, inserem ou retiram perdas de carga na execução dessa ação. Assim, o controle de velocidade de motores por meio de inversores de frequência pode ser utilizado, ao invés do processo ineficiente de inserção de perdas. A economia de energia alcançada para uma vazão específica, operando com rotação variável ao invés de válvulas de restrição, é dada pela Equação 6 (MARQUES et al., 2007, p. 103-104).

$$\Delta E = \frac{\rho \times g \times Q \times \Delta H}{3600 \times \eta_M \times \eta_B} \cdot t \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

$\Delta E$ : economia de energia;

$\Delta H$ : diferença entre a pressão obtida utilizando válvula e a pressão usando controle de velocidade;

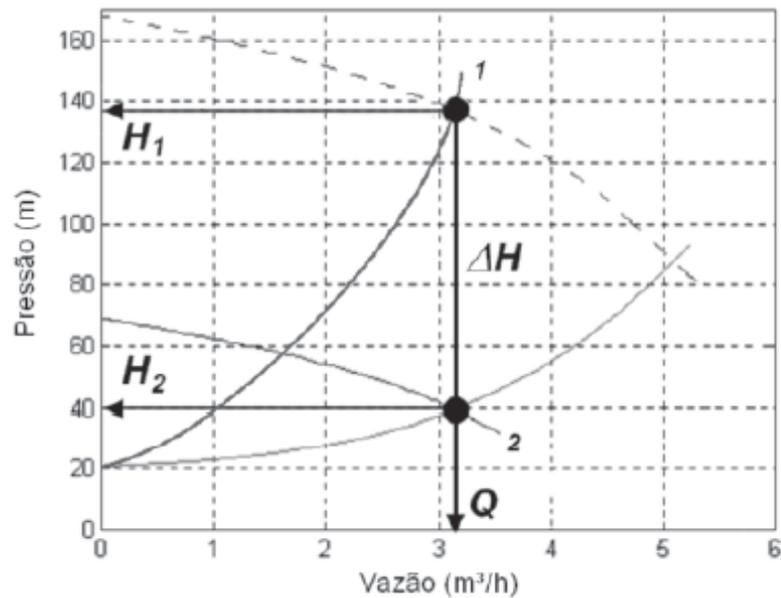
Q: vazão;

$\eta_M$ : rendimento do motor;

$\eta_B$ : rendimento da bomba;

t: número de horas operando com controle de velocidade em substituição de uma válvula.

A pressão é maior com a utilização da válvula levando a uma maior potência demandada em relação à utilização do controle de velocidade. Dessa forma, o consumo de energia será maior, conforme apresentado na Figura 24. Os valores de  $H_1$  e  $H_2$  podem ser determinados em gráficos de pressão *versus* vazão (MARQUES et al., 2007, p. 105).



**Figura 24** – Operação com válvula de estrangulamento (1) e com rotação variável (2)

Fonte: Marques et al., 2007, p. 105.

O controle da rotação dos ventiladores utilizando inversores de frequência é realizado por meio de um sensor que, dependendo da temperatura do ambiente, modula a rotação do motor produzindo algumas vantagens. Dentre elas, pode-se citar: controle mais preciso da temperatura, melhoria do fator de potência da instalação e redução do consumo de energia (SILVA, 2006, p. 28).

### 5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas de promoção da eficiência energética apresentadas são pautadas em substituições tecnológicas dos equipamentos existentes nas edificações, sendo direcionadas para a redução de custos com energia e não para a eficiência propriamente dita; sendo assim, limitadas no sentido de não oferecerem garantias que a energia será consumida de forma inteligente. O uso de soluções de tecnologia necessita de um monitoramento facilitado do consumo energético e de metodologias integradas de gestão de insumos (BRAGA, 2007, p. 82). Um trabalho de conscientização dos usuários é importantíssimo, havendo a necessidade de campanhas em rede nacional, divulgação das medidas de efficientização, participação das redes televisivas etc., para geração de novos hábitos de uso e consumo.

## CAPÍTULO 6 - AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO SEDE DO CREA-BA - ESTUDO DE CASO

Este capítulo consiste no estudo de caso realizado na sede do CREA-BA com objetivo de avaliar o nível de eficiência energética da edificação e classificar o nível de eficiência dos sistemas existentes. Também se destina a avaliar os sistemas individuais (envoltória, iluminação e condicionamento de ar) e propor condições de melhorias, com objetivo de exemplificar a metodologia apresentada pelo RTQ-C.

### 6.1 INTRODUÇÃO

O trabalho de avaliação do nível de eficiência energética do edifício da sede do CREA-BA (Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia da Bahia) foi realizado mediante acordo firmado entre o CREA-BA e o LABEFEA/UFBA em outubro de 2009.

Este trabalho baseou-se na documentação normativa do regulamento intitulado Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) do PROCEL, publicado na Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010 do INMETRO, não obstante ter sido iniciado no período da portaria anterior do INMETRO, nº 163, de 08 de junho de 2009. Para a execução da avaliação no CREA-BA contou-se com o aval do chefe de gabinete do Conselho do CREA-BA, engenheiro civil e arquiteto Giesi Nascimento Filho, bem como de toda equipe do LABEFEA, formada por professores, pesquisadores, bolsistas de arquitetura, engenharia civil e elétrica.

## 6.2 ESTUDO DE CASO: CREA-BA

A sede do CREA-BA está localizada à Rua Professor Aloísio de Carvalho Filho nº 402, Engenho Velho de Brotas, Salvador/BA, sendo uma edificação de caráter público com área útil de 1902,80 m<sup>2</sup>. É formado por quatro prédios, denominados Módulo I, Módulo II, Módulo III e Anexo.



**Figura 25** – Sede do CREA-BA, Módulo I – fachada NO (a) e fachada NE (b)

Fonte: Labefea.

O estudo de caso tange somente os sistemas de iluminação e condicionamento de ar, pois possuem relação direta com o consumo de energia elétrica. A análise do desempenho da envoltória encontra-se no Anexo, por ter sido melhor analisada pelos bolsistas de engenharia civil e arquitetura do LABEFEA.

## 6.3 METODOLOGIA

Os objetos de estudos foram os Módulos I, II e III por concentrarem a maior parte das atividades, o maior consumo energético e a maior área ocupada. O prédio Anexo foi considerado de baixo interesse para o estudo devido às suas dimensões pouco expressivas com relação ao conjunto e também por não ser totalmente ocupado, possuindo ambientes inativos.

As atividades de avaliação do edifício sede do CREA-BA foram iniciadas em janeiro/2010. Durante este período foram realizadas várias visitas, para a coleta de

dados da edificação como projetos arquitetônicos – plantas de situação, plantas baixas, cortes e fachadas, projeto elétrico, memorial descritivo e do sistema de condicionamento de ar. Como o CREA-BA não possuía a maior parte dos documentos solicitados, nem das plantas de suas instalações atualizadas, nem especificações dos equipamentos necessários à avaliação seguindo os critérios exigidos pelo regulamento, a equipe do LABEFEA fez alguns levantamentos visando complementar a documentação existente.

O método definido para a avaliação da sede do edifício do CREA-BA foi o definido no Manual de Aplicação do RTQ-C e RAC-C. A análise será realizada utilizando o Método Prescritivo.

Para obter a classificação geral do edifício, deve-se avaliar a envoltória, o sistema de iluminação e/ou condicionamento de ar, resultando em uma classificação final. Poderá ser feita também a avaliação parcial da edificação, sendo envoltória e iluminação, ou envoltória e condicionamento de ar. Para isso, pesos são atribuídos para cada sistema individual e, de acordo com a pontuação final, é obtida uma classificação que também varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), apresentada na ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

Os itens envolvidos na avaliação do nível de eficiência energética do CREA-BA foram:

- envoltória;
- sistema de iluminação;
- sistema de condicionamento de ar.

O estudo de caso faz referência somente aos dados reais da envoltória e do sistema de iluminação, excluindo-se a análise, da situação real, do sistema de condicionamento de ar devido à falta de informações e dificuldades encontradas em relação às unidades de ar condicionado, pois a maioria destas unidades não possui nenhuma especificação para que sejam efetuados os procedimentos da avaliação de eficiência energética deste sistema.

## 6.4 ENVOLTÓRIA

A classificação da envoltória faz-se mediante a determinação de um conjunto de índices referentes às características físicas do edifício. Componentes opacos e dispositivos de iluminação zenital são definidos em pré-requisitos, enquanto as aberturas verticais são avaliadas por meio de equações. Estes parâmetros compõem a “pele” da edificação, e são complementados pelo volume, pela área de piso do edifício e pela orientação das fachadas.

Conforme metodologia descrita nos regulamentos, a zona bioclimática para o território brasileiro na qual o edifício está inserido, no caso do CREA, localizado na cidade de Salvador, é ZB = 8.

Posteriormente, é calculado o IC (Indicador de Consumo), sendo para isso necessário determinar os valores das seguintes variáveis:

---

**Ape:** Área de projeção do edifício (m<sup>2</sup>);

---

**Atot:** Área total de piso (m<sup>2</sup>);

---

**Aenv:** Área da envoltória (m<sup>2</sup>);

---

**AVS:** Ângulo vertical de sombreamento, entre 0 e 45° (graus);

---

**AHS:** Ângulo horizontal de sombreamento, entre 0 e 45° (graus);

---

**FF:** (Aenv/ Vtot), Fator de forma;

---

**FA:** (Apcob/ Atot), Fator altura;

---

**FS:** Fator solar;

---

**PAFt:** Percentual de abertura na fachada total (adimensional);

---

**Vtot:** Volume total da edificação (m<sup>3</sup>).

---

## 6.5 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

A eficiência do sistema de iluminação é determinada calculando-se a densidade de potência instalada para a iluminação interna, conforme 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 sejam garantidas as condições adequadas de iluminação. Tais cálculos foram efetuados com base no Método das Áreas. Contudo, para classificação completa do

sistema de iluminação, também é necessário a análise de determinados parâmetros de controle (pré-requisitos). A análise é apresentada a seguir.

### 6.5.1 Análise dos Pré-Requisitos

Além dos limites de potência instalada, a eficiência energética do sistema de iluminação do edifício é dependente de critérios de controle: divisão de circuitos, contribuição da luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação. No entanto, o terceiro critério não se aplica aos Módulos I, II e III, pois nenhum desses possui ambientes internos com área superior a 250 m<sup>2</sup>. Os demais critérios serão analisados em conjunto com os resultados de EqNumDPI de cada um dos módulos.

### 6.5.2 Método das Áreas

Inicialmente, identificam-se os ambientes, a área de cada ambiente, o conjunto que compõe o sistema de iluminação (luminária, lâmpada e reator) e a potência instalada por ambiente de cada edificação.

Para o cálculo da área foram consultadas as plantas baixas dos módulos I, II e III. No entanto, foram encontradas dificuldades para o cálculo da potência instalada devido à grande diversidade de lâmpadas e reatores utilizados no edifício. Dessa forma, generalizou-se o uso do reator eletrônico 2x40 Helfont Bivolt.

É um reator de partida instantânea, alto fator de potência, bivolt (127/220V), para lâmpada fluorescente tubular. Possui tensão de alimentação com tolerância +6% e -10%. Os dados técnicos fornecidos pelo fabricante são apresentados na Tabela 20.

**Tabela 20** – Dados técnicos do reator Helfont Bivolt – Philips

Lâmpada (W)	Tensão Nominal (V)	Frequência (Hz)	Corrente de rede (A)	Potência Total (W)	Fator de Potência	Fator de Fluxo Luminoso	Distorção Harmônica (THD)
2x36 / 40	127 / 220	50/60	0,61	75	0,97	0,90	20%
			0,35	74			25%

Fonte: Philips, 2007.

A lâmpada fluorescente tubular T10 adotada para a generalização é da marca OSRAM, modelo L40WLDE, luz do dia especial, que possui fluxo luminoso de 2.700 lm e 40 W de potência. A utilização desse modelo de lâmpada e de reator eletrônico foi pautada no fato de que o estoque para reposição de lâmpadas queimadas e reatores defeituosos ser formado apenas pelos modelos adotados.

A maioria das luminárias empregadas em todos os três módulos tem capacidade para duas lâmpadas fluorescentes tubulares T10 e conforme as informações do fabricante, a potência total instalada do conjunto luminária, reator e lâmpadas para uma tensão nominal de 127 V é de 74 W. Os casos particulares de luminárias são descritos posteriormente para cada módulo.

### 6.5.3 Resultados – Método Prescritivo

- **Módulo I**

O módulo I é composto por 38 ambientes, onde foi identificado como atividade principal a função “escritório”, de acordo com a tabela do limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação ( $DPI_L$ ) para o nível de eficiência pretendido. Tal escolha é justificada devido a atividade “armazém” (que engloba os ambientes Almojarifado, Depósito e Arquivos) representar 14,3% da área desse módulo. Para essa função, verificam-se as densidades de potência limite ( $W/m^2$ ) correspondentes a cada nível de eficiência destacadas na Tabela 21.

**Tabela 21** – Limite máximo aceitável de  $DPI_L$  para o nível de eficiência pretendido – Método das áreas

Função	$DPI_L$ ( $W/m^2$ )			
Edifício	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1

Fonte: INMETRO, 2010, p. 42.

Adotando os parâmetros indicados pelo fabricante, obteve-se a Tabela 22, onde são apresentados a potência das luminárias, o número de luminárias, a área de cada ambiente e a potência instalada por ambiente e total.

**Tabela 22** – Dados levantados do Módulo I

<b>Ambiente</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pot<sub>unit</sub> luminária (W)</b>	<b>Quant.</b>	<b>Pot<sub>total</sub> instalada (W)</b>
Átrio	6,60	40	2	80
Mútua	26,25	74	3	222
Supervisão de Contabilidade	26,10	74	3	222
Serviço Administrativo	18,11	74	4	296
Arquivo	10,58	74	2	148
Recursos Humanos	26,16	74	4	296
Protocolo	17,32	74	2	148
Almoxarifado	37,12	74	5	370
Circulação	33,15	30	10	300
Coordenação Adm. Financeira	6,99	74	2	148
Coordenação	10,94	74	4	296
Vestiário Feminino	5,24	74	1	74
Depósito	5,26	74	1	74
WC masculino	10,51	74	2	148
WC feminino	11,86	74	1	74
Eventos	29,06	74	6	444
Gestão de Pessoas	12,41	74	3	222
Ouvidoria	11,57	74	2	148
TeleCREA	9,82	74	2	148
Xérox	8,76	74	2	148
WC masculino	10,45	74	2	148
WC feminino	9,72	74	2	148
Público	61,85	40	8	320
Atendimento ao Público	79,79	74	14	1.036
Arquivo	10,23	74	2	148
Consulta Profissional	4,99	74	2	148
Cadastro	52,2	74	12	888
Coordenação	12,49	74	1	74
Arquivo	49,58	74	5	370
Planejamento e Contabilidade	11,15	74	2	148
Supervisão de Fiscalização	17,59	74	2	148
Coordenação de Fiscalização	11,82	74	2	148
Fiscalização	65,79	74	12	888
Sala dos Fiscais	21,68	74	4	296
Atendimento Interno	24,44	74	3	222
Coordenação de Atendimento	10,48	74	2	148
Informações	9,08	74	1	74
Banco	3,14	74	1	74
<b>Total</b>	<b>790,58</b>			<b>9.432</b>

Fonte: Levantamento de dados *in loco* pela autora.

Os ambientes, átrio e público, possuem luminárias com apenas uma lâmpada tubular, assim a potência instalada por luminária é igual a 40 W. Na área de

“circulação” existem apenas lâmpadas fluorescentes compactas de 30 W cada, distribuídas em cinco luminárias, cada qual composta por duas LFC.

Para determinar o nível de eficiência do prédio, calcula-se a potência limite instalada para cada nível. Tal potência é obtida multiplicando-se a densidade de potência limite do respectivo nível, contido na tabela limite máximo de densidade de potência de iluminação para o nível pretendido – Método das áreas, pela área total iluminada, conforme Equação 7.

$$P_{Linst} = DPI_L \times A \quad (\text{Eq. 7})$$

Assim obtemos a Tabela 23 para que seja efetuada a comparação entre a potência total instalada e as potências limite instalada para cada nível de eficiência.

**Tabela 23** – Potência limite instalada para cada nível de eficiência

Módulo I	DPI <sub>L</sub> (W/m <sup>2</sup> )			
P <sub>total inst.</sub> (W)	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
9.432	7.668,63	8.854,5	9.961,31	11.147,18

Fonte: Elaborado pela autora.

Conclui-se então que o Módulo I possui inicialmente nível C (EqNumDPI = 3), pois a potência total instalada é menor que a potência instalada do Nível C e maior que a potência limite instalada do nível B.

Com relação à análise dos pré-requisitos, divisão de circuitos e contribuição da luz natural, o módulo I atende ao primeiro critério em todos os ambientes, porém o segundo critério não é satisfeito no ambiente denominado “público”. Assim o EqNumDPI geral deve ser corrigido através de ponderação entre os níveis de eficiência energética e potência instalada no ambiente que não atende ao pré-requisito e a potência instalada e o nível de eficiência para o sistema e iluminação. Tal ponderação resultou em um EqNumDPI igual a 3, pois o equivalente numérico do ambiente “público” também é igual a 3. Ficando o Módulo I classificado como Nível C.

- **Módulo II**

O Módulo II é composto de 30 ambientes, sendo sua atividade principal também “Escritório”, não existindo outra atividade que ocupe mais de 30% da área deste, de forma similar ao Módulo I.

A seguir, obtêm-se a potência total instalada e a área total do ambiente, por meio dos parâmetros adotados pelo fabricante, assim descritos na Tabela 24.

**Tabela 24** – Dados levantados do Módulo II

<b>Ambiente</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pot<sub>unit</sub> luminária (W)</b>	<b>Quant.</b>	<b>Pot<sub>total</sub> instalada (W)</b>
Superintendência	11,18	74	2	148
Gabinete da Presidência	11,18	74	2	148
Sala da Secretária	36,33	74	6	444
		11	6	66
Reuniões 2	53,00	74	12	888
Sala de Conselheiros	27,70	74	3	222
Reuniões	35,83	74	6	444
Presidência	20,27	74	3	222
WC Presidência	2,36	30	2	60
Diretoria	23,80	74	3	222
ASRIN	8,47	74	2	148
Assessoria da Presidência	8,47	74	2	148
Sala de Espera	9,39	74	4	296
Copa	2,28	30	2	60
ASCOM	24,45	74	4	296
Procuradoria Jurídica	44,34	74	8	592
Chefia Advogados	18,47	74	4	296
COTIM	9,89	74	2	148
Assistência Técnica	9,89	74	3	222
Programadores	13,77	74	2	148
Sala Comissão de Ética/ Conselheiros	13,91	74	4	296
Secretaria TI	17,01	74	2	148
Servidor	10,17	74	2	148
Secretaria das Câmaras	43,82	74	7	518
		30	2	60
Assessor Técnico	10,53	74	2	148
ASTEC	46,16	74	6	444
WC masculino	11,34	74	1	74
WC feminino	8,70	74	1	74
Circulação 1	15,56	30	8	240
Circulação 2	11,08	45	2	90
Passarela	45,83	40	4	160
		19	6	114
<b>Total</b>	<b>605,18</b>	<b>2.085</b>	<b>125</b>	<b>7.732</b>

Fonte: Levantamento de dados *in loco* pela autora.

Na área denominada Circulação 1 existem apenas lâmpadas fluorescentes compactas, sendo que há apenas lâmpadas com potência 30 W cada, dispostas em quatro luminárias, cada qual com duas lâmpadas, como mostra a Figura 26. Assim a potência instalada de cada luminária é de 60 W. Nos ambientes, Copa e Secretaria das Câmaras, verifica-se o mesmo tipo de luminária.



**Figura 26** – Ambiente: Circulação 1

Fonte: Labefea.

Na área denominada Circulação 2 existem apenas lâmpadas fluorescentes compactas PHILIPS, modelo Master PLE-H 45W 127V, que apresenta fluxo luminoso de 2.800 lm, dispostas em uma luminária de potência total instalada igual a 90 W.

No ambiente denominado “Passarela” existem dois tipos de lâmpadas fluorescentes tubular. Há seis lâmpadas de 20 W e quatro de 40 W, todas em luminárias individuais. De acordo com o catálogo do fabricante do reator, para a primeira configuração a potência total instalada da luminária é de 19 W e para a segunda é de 40 W.

No ambiente denominado “Sala da Secretária” a iluminação é mista. Existem 12 luminárias, sendo seis lâmpadas fluorescentes tubular padrão de 40 W e seis lâmpadas fluorescentes compactas, temperatura de cor 6.400 K de potência 11 W, da marca GE, de acordo com a Figura 27.



**Figura 27** – Ambiente – sala da secretária

Fonte: Labefea.

O ambiente WC Presidência possui duas lâmpadas fluorescentes compactas de 30 W. A fim de obter-se a potência total instalada do ambiente foi somada a potência de todas as lâmpadas.

Após a análise qualitativa do sistema de iluminação do Módulo II, analisa-se quantitativamente tal sistema por meio do cálculo da potência instalada limite de cada nível para determinar o nível de eficiência do edifício. Tal potência é dada pela equação 7, sendo o produto da densidade de potência limite do respectivo nível (DPI<sub>L</sub>) pela área total iluminada (A).

Dessa forma, obtém-se a Tabela 25 para se efetuar a comparação entre a potência total instalada obtida na Tabela 24 e as potências instaladas limites para cada nível de eficiência.

**Tabela 25** – Potência limite instalada - Módulo II

<b>Módulo II</b>	<b>DPIL (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>DPIL (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>DPIL (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>DPIL (W/m<sup>2</sup>)</b>
<b>P<sub>total int</sub>(W)</b>	<b>Nível A</b>	<b>Nível B</b>	<b>Nível C</b>	<b>Nível D</b>
7.732	5.870,25	6.778,02	7.625,27	8.533,04

Fonte: Elaborado pela autora.

Conclui-se então que o Módulo II deve ser classificado inicialmente como Nível D (EqNumDPI = 2), pois a potência total instalada é de 7.732 W que é maior

que a potência instalada limite do Nível C, que é de 7.625,27 W, e menor que a potência instalada limite do Nível D.

A análise dos pré-requisitos, divisão de circuitos e contribuição da luz natural, do Módulo II indica que ambos os critérios foram satisfeitos em todos ambientes. Como exemplo, as luminárias presentes na parte da “Passarela” que possui influência da luz natural permanecem desligadas durante o dia, enquanto que as demais permanecem acesas. Sendo assim, o Módulo II permanece com a classificação de Nível D.

- **Módulo III**

Este módulo é composto por 14 ambientes, onde são identificadas três atividades principais: as funções ‘Restaurante’, ‘Teatro’ e ‘Museu’. Para essas funções, verificam-se as Densidades de Potência Limite ( $W/m^2$ ) correspondentes a cada nível de eficiência destacadas na Tabela 26.

**Tabela 26** – Limite máximo aceitável  $DPI_L$  – Método das Áreas

Função do Edifício	$DPI_L$ ( $W/m^2$ ) Nível A	$DPI_L$ ( $W/m^2$ ) Nível B	$DPI_L$ ( $W/m^2$ ) Nível C	$DPI_L$ ( $W/m^2$ ) Nível D
Restaurante	9,60	11,00	12,50	13,90
Teatro	15,00	17,30	19,50	21,80
Museu	11,40	13,10	14,80	16,50

Fonte: INMETRO, 2010, p. 42.

A seguir, obtêm-se a potência total instalada e a área total do ambiente, por meio dos parâmetros adotados pelo fabricante, assim descritos. Nota-se que no Módulo III os ambientes são identificados por suas respectivas atividades principais.

**Tabela 27** – Área e potência instalada por ambiente

<b>Atividade Principal</b>	<b>Ambiente</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pot<sub>unit</sub> luminária (W)</b>	<b>Quant.</b>	<b>Pot<sub>total</sub> instalada (W)</b>
Restaurante	Refeitório/cantina	91,05	74	15	1.110
	Depósito 3	7,90	74	1	74
	Copa/cozinha	15,04	74	3	222
Teatro	Som/projeção	10,44	74	2	148
	Depósito 1	5,43	30	1	30
	Depósito 2	5,43	30	1	30
	Palco	17	30	4	120
	Plenário / auditório	127,3	74	6	444
			30	10	300
			50	6	300
30			6	180	
Museu	WC masculino	5,12	30	3	90
	WC feminino	7,36	30	3	90
	WC deficiente físico	3,46	30	1	30
	Hall	1,19	30	1	30
	Foyer Auditório/Galeria	28,85	74	4	296
	Circulação	26	30	8	240
<b>Total</b>		<b>351,57</b>	<b>794</b>	<b>75</b>	<b>3.734</b>

Fonte: Levantamento de dados *in loco* pela autora.

Na “Circulação” existem apenas lâmpadas fluorescentes compactas, sendo que há apenas lâmpadas com potência 30 W cada, dispostas em quatro luminárias, duas a duas. Assim, a potência instalada de cada luminária é de 60 W. No Hall, Depósito 1, Depósito 2 e nos Banheiros verifica-se a mesma lâmpada, contudo a mesma está instalada individualmente.

No ambiente denominado “Galeria” verifica-se quatro luminárias com duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 40W padrão e também seis lâmpadas halógenas com refletor dicróico PHILIPS de potência 50 W, modelo TWIST50W130V40CX. Contudo, as lâmpadas halógenas com refletor dicróico fazem parte de iluminação decorativa, portanto não fazem parte do cálculo do equivalente numérico.

O ambiente “Plenária/Auditório” apresentou uma grande variedade de modelos na iluminação. Utilizando dez lâmpadas de embutir no teto de 30 W, seis lâmpadas de embutir na parede de 30 W, seis lâmpadas halógenas com refletor

dicróico de 50 W e seis luminárias com duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W (padrão). Dessa forma, podem-se sintetizar os dados do Módulo III na Tabela 28, que indica a área total iluminada e a potência total instalada por função.

**Tabela 28** – Área total iluminada e potência total instalada para as atividades principais – Módulo III

Atividade principal	Área total (m <sup>2</sup> )	Potência total instalada (W)
Restaurante	113,99	1.406
Teatro	165,60	1.552
Museu	71,98	776
Total	351,57	3.734

Fonte: Elaborado pela autora.

Para determinar o nível de eficiência do edifício foi então calculada a potência instalada limite, que é a soma da potência instalada limite de cada uma das funções específicas. Tal potência é dada pela equação 7, sendo o produto da densidade de potência limite do respectivo nível ( $DPI_L$ ) pela área total iluminada ( $A$ ). Dessa forma, obteve-se a Tabela 29 para se efetuar a comparação entre a potência total instalada obtida na Tabela 28 e as potências instaladas limites para cada nível de eficiência.

**Tabela 29** – Potência limite instalada para cada nível de eficiência

Atividade principal	$P_{Linst}$ (W) Nível A	$P_{Linst}$ (W) Nível B	$P_{Linst}$ (W) Nível C	$P_{Linst}$ (W) Nível D
Restaurante	1.094,30	1.253,89	1.424,88	1.584,46
Teatro	2.484,00	2.864,88	3.229,20	3.610,08
Museu	820,57	942,94	1.065,30	1.187,67
$P_{ijtotal}$ (W)	4.398,88	5.061,71	5.719,38	6.382,21

Fonte: Elaborado pela autora.

Conclui-se então que o Módulo III deve ser classificado como Nível A ( $EqNumDPI = 5$ ), pois a potência total instalada é de 3.734 W que é menor que a potência instalada limite do Nível A, que é de 4.398,88 W.

A análise dos pré-requisitos, divisão de circuitos e contribuição da luz natural do Módulo III, indica que ambos os critérios são satisfeitos em todos ambientes. Dessa forma, o Módulo III permanece com a classificação de Nível A.

## 6.6 SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR

A primeira etapa para determinar a eficiência para sistemas de condicionamento de ar compostos por condicionadores de ar tipo janela ou split consiste em consultar a eficiência dos equipamentos no *website* do INMETRO. Como pouquíssimos equipamentos apresentavam etiqueta de eficiência do INMETRO, o procedimento, conforme o manual seria verificar se os aparelhos atendiam às condições estabelecidas nas Tabelas. 5.4 a 5.10 do RTQ-C (INMETRO, 2010, p. 53-63). Tais tabelas avaliam os condicionadores de ar quanto a sua potência e eficiência de acordo com o COP, ICOP ou IPVL do equipamento. O valor do COP presente nestas tabelas refere-se à eficiência de resfriamento dos aparelhos de condicionamento de ar. Equipamentos com eficiência menor que as listadas nestas tabelas serão classificadas com nível E. Além de atender estas condições, para obtenção da classificação A, a unidade de condicionamento de janela ou a unidade condensadora do sistema *split* deverá estar sempre sombreada.

Entretanto, não se obteve, de nenhum dos condicionadores de ar, o valor do COP ou qualquer outra referência que indicasse a eficiência dos equipamentos pelos padrões internacionais. Nesse caso, quando os modelos consultados não forem regulamentados pelo INMETRO e nem possuem COP para verificação por meio das tabelas do RTQ-C, o nível de eficiência da unidade não classificada é definido como nível E. Porém como esse fato ocorreu com a maioria dos condicionadores de ar, para possibilitar uma melhor análise dos procedimentos para a determinação da eficiência de ambientes condicionados, optou-se por atribuir níveis de eficiências que variam de B a E aos equipamentos não classificados, com base em equipamentos similares avaliados pelo PBE/INMETRO.

### 6.6.1 Determinação do Nível de Eficiência Simulado

Assumindo-se que o cálculo das cargas térmicas esteja de acordo com as normas e bem dimensionado, segue o procedimento para determinação da

classificação dos sistemas de condicionamento de ar dos ambientes. As unidades foram classificadas atribuindo-se níveis de eficiência entre A e D para simulação, conforme já descrito anteriormente. Nas Tabelas 30, 31, 32 e 33, pode-se verificar o que se obteve de dado concreto sobre os ambientes e as eficiências que foram atribuídas para simulação.

**Tabela 30** – Sistemas de Condicionamento de Ar - Módulo I

Ambiente	Área condicionada (m <sup>2</sup> )	Marca	Quant.	Capacidade (Btu/h)	Eficiência da unidade
Mútua	26,25	SPRINGER	2	12.000**	D
Supervisão de Contabilidade	26,10	MIDEA	2	12.000	C*
Serviço Administrativo	18,11	SPRINGER	1	9.000	B*
Arquivo	10,58	GREE	1	18.000	C*
Recursos Humanos	26,16	GREE	1	18.000	C*
Protocolo	17,32	YORK	1	9.000	B
Almoxarifado 1	31,85	MIDEA	1	24.000	C*
Almoxarifado 2	5,27	GREE	1	6.000	D*
Gestão de Pessoas	12,41	GREE	1	24.000	C*
Coordenadoria/ Adm/Financeira	17,93	SPRINGER	2	18.000**	B
Eventos	29,06	GREE	1	24.000	C*
Xérox	8,76	YORK	1	9.000	B*
Atend. ao Público	79,79	GREE	1	30.000	C*
		GREE	1	30.000	C*
Supervisão de Fiscalização	17,59	MIDEA	1	12.000	C*
Planej. e contabilidade	11,15	MIDEA	1	12.000	C*
Coordenação de Fiscalização	11,82	MIDEA	1	12.000	C*
Fiscalização	65,79	MIDEA	1	24.000	B*
		GREE	1	6.000	D
Sala dos fiscais	21,68	SPRINGER	1	30.000	B*
Cadastro	52,2	MIDEA	2	18.000	C*
Arquivo	49,58	BRYANT	1	21.000**	B*
Coordenação	12,49	MIDEA	1	12.000	C*
Coord. Atendimento	10,48	CARRIER	1	12.000	D*

Fonte: Levantamento de dados *in loco* pela autora.

\* Dados não encontrados, sendo sua eficiência atribuída com base em equipamentos similares avaliados pelo PBE/INMETRO.

\*\* Dados obtidos em planta elétrica não atualizada.

**Tabela 31** – Sistemas de Condicionamento de Ar - Módulo II

Ambiente	Área condicionada (m <sup>2</sup> )	Marca	Quant.	Capacidade (Btu/h)	Eficiência da unidade
Superintendência	11,18	YORK	1	9.000**	B
Gabinete da Presidência	11,18	SPRINGE R	1	9.000	B
Secretária	36,33	GREE	1	30.000	C*
Reuniões 2	53,00	GREE	2	24.000	C*
Sala de conselheiros	27,7	GREE	1	24.000	C*
Reuniões	35,83	GREE	1	30.000	C*
		GREE	1	24.000	C*
Presidência	20,27	GREE	1	18.000	C*
Diretoria	23,8	GREE	1	24.000	C*
ASRIN	8,47	CARRIER	1	9.000**	D*
Assessoria da presidência	8,47	YORK	1	9.000**	B*
Sala de Espera	9,39	CARRIER	1	9.000**	D*
ASCOM	24,45	CARRIER	1	18.000**	D*
Procuradoria jurídica	44,34	YORK	1	30.000	B*
Chefia Advogados	18,47	GREE	1	18.000	C*
COTIM	9,89	CONSUL	1	18.000**	B*
Assistência Técnica	9,89	SPRINGE R	1	21.000**	B*
Programadores	13,77	YORK	1	18.000	B
Sala Comissão de Ética/ Conselheiros	13,91	GREE	1	12.000	C*
Servidor	10,17	GREE	1	12.000	C*
		TOTALINE	1	24.000**	B*
Secretaria das câmaras	43,82	YORK	1	30.000	B*
		SPRINGE R	1	21.000**	B*
Assessor Técnico	10,53	YORK	1	9.000	C
ASTEC	46,16	YORK	1	30.000	B*

Fonte: Levantamento de dados *in loco* pela autora.

A determinação da eficiência de todo o conjunto de ambientes classificados é dado através de ponderação das áreas de cada ambiente por sua respectiva classificação obtendo a classificação final do conjunto. Os valores de potência são utilizados somente se acontecer de possuir mais de uma unidade de condicionamento dividindo o mesmo ambiente e estes equipamentos possuem potência e eficiência diferentes. Neste caso, a eficiência de cada unidade deve ser ponderada pela potência e não pela área, uma vez que todos os aparelhos atendem

a uma mesma área. Isto pode ser observado na Tabela 32 para o ambiente denominado “Fiscalização” que possui duas unidades de condicionamento com eficiências distintas.

**Tabela 32** – Eficiência do conjunto de ambientes - Módulo I

<b>Ambiente</b>	<b>Área condicionada (m²)</b>	<b>EqNum unidade</b>	<b>EqNum do ambiente</b>	<b>Coefficiente de ponderação</b>	<b>Resultado ponderado</b>
Mútua	26,25	2	2	0,11	0,22
Supervisão de Contabilidade	26,10	3	3	0,11	0,33
Serviço Administrativo	18,11	4	4	0,08	0,31
Arquivo	10,58	3	3	0,04	0,13
Recursos Humanos	26,16	3	3	0,11	0,33
Protocolo	17,32	4	4	0,07	0,29
Almoxarifado 1	31,85	3	3	0,14	0,41
Almoxarifado 2	5,27	2	2	0,02	0,04
Gestão de Pessoas	12,41	3	3	0,08	0,23
Coordenadoria Adm. Financeira	17,93	4	4	0,08	0,3
Eventos	29,06	3	3	0,12	0,37
Xérox	8,76	4	4	0,04	0,15
<b>Lado esquerdo</b>	<b>229,80</b>	<b>EqNum total lado esquerdo</b>			<b>3,11</b>
		3			
Atend. ao Público	79,79	3	3	0,24	0,73
Supervisão de Fiscalização	17,59	3	3	0,05	0,16
Planejamento e Contabilidade	11,15	3	3	0,03	0,10
Coordenação de Fiscalização	11,82	3	3	0,04	0,11
		4			
Fiscalização	65,79	2	3,6	0,20	0,8
Sala dos fiscais	21,68	4	4	0,07	0,26
Cadastro	52,20	3	3	0,16	0,48
Arquivo	49,58	4	4	0,15	0,6
Coordenação	12,49	3	3	0,03	0,09
Coord. Atendimento	10,48	2	2	0,03	0,06
<b>Lado direito</b>	<b>332,57</b>	<b>EqNum total</b>			<b>3,39</b>

Fonte: Levantamento de dados *in loco* pela autora.

**Tabela 33** – Eficiência do conjunto de ambientes - Módulo II

<b>Ambiente</b>	<b>Área condicionada (m<sup>2</sup>)</b>	<b>EqNum unidade</b>	<b>EqNum do ambiente</b>	<b>Coefficiente de ponderação</b>	<b>Resultado ponderado</b>
Superintendência	11,18	4	4	0,02	0,09
Gabinete da Presidência	11,18	4	4	0,02	0,09
Secretária	36,33	3	3	0,07	0,22
Reuniões 2	53	3	3	0,11	0,33
Sala de conselheiros	27,70	3	3	0,06	0,17
Reuniões	35,83	3	3	0,07	0,22
		3			
Presidência	20,27	3	3	0,04	0,12
Diretoria	23,80	3	3	0,05	0,15
ASRIN	8,47	2	2	0,02	0,04
Assessoria da presidência	8,47	4	4	0,02	0,07
Sala de Espera	9,39	2	2	0,02	0,04
ASCOM	24,45	2	2	0,05	0,10
Procuradoria jurídica	44,34	4	4	0,08	0,31
Chefia Advogados	18,47	3	3	0,04	0,11
COTIM	9,89	4	4	0,02	0,08
Assistência Técnica	9,89	4	4	0,02	0,08
Programadores	13,77	4	4	0,03	0,11
Sala Comissão de Ética/ Conselheiros	13,91	3	3	0,03	0,09
Servidor	10,17	3	3,67	0,03	0,10
		4			
Secretaria das câmaras	43,82	4	4	0,09	0,34
		4			
Assessor Técnico	10,53	3	3	0,02	0,06
ASTEC	46,16	4	4	0,09	0,38
<b>Total</b>	<b>491,02</b>		<b>EqNum</b>		<b>3,3</b>

Fonte: Levantamento de dados *in loco* pela autora.

O resultado ponderado obtido está dentro do intervalo de 2,5 a 3,5, desta forma o nível de eficiência para o sistema de condicionamento de ar suposto seria nível C. Assim a classificação final do sistema proposto dos Módulos I e II é nível C. Não houve necessidade de verificação de pré-requisitos, pois esta verificação deve ser realizada somente para nível A de eficiência.

## 6.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O número de pontos obtidos na Equação 1 irá definir a classificação geral da edificação, de acordo com a Tabela 4. Assim, as classificações final e parciais são apresentadas na ENCE.

De forma concisa, apresenta-se na Tabela 35 o resultado final de cada módulo do CREA-BA.

**Tabela 34** – Resultado final dos Módulos I, II e III

CREA-BA	EqNumEnv	EqNumDPI	EqNumCA	PT	Nível
Módulo I	B	C		2,64	C
Módulo II	B	D		2,01	D
Módulo III	B	A		3,02	C
<b>PT parcial</b>	<b>B</b>	<b>C</b>			

Fonte: Elaborado pela autora.

## 6.8 CONCLUSÃO

### 6.8.1 Envoltória

A boa qualificação obtida no quesito envoltória no Módulo I deve-se a alguns fatores existentes que favoreceram sua avaliação, tais como boa quantidade de aberturas nas fachadas, contribuindo para a troca de calor e presença de proteções solares, tanto verticais quanto horizontais, em algumas aberturas, diminuindo a incidência solar. Já o telhado de fibrocimento, conforme Figura 28, apresenta alta transmitância térmica, prejudicando assim o desempenho do Módulo I.



**Figura 28** – Telhas de fibrocimento

Fonte: Labefea.

No Módulo II a principal característica que se destacou para obtenção de um bom desempenho no consumo de envoltória é que a fachada apresenta uma boa quantidade de aberturas que possibilitam a troca de calor. Já a ausência de proteção horizontal e vertical nas aberturas e o telhado com alta transmitância térmica (telha de fibrocimento) não favoreceram a edificação para obter uma qualificação melhor.

O Módulo III apresentou dois fatores que favoreceram a boa qualificação: a presença de proteções horizontais nas aberturas e a fachada possuir boa quantidade de aberturas que possibilitam a troca de calor. Assim como nos Módulos I e II, ele também não possui proteção horizontal e vertical nas aberturas e apresenta o mesmo tipo de telhado (telha de fibrocimento) não favorecendo a edificação para obter uma qualificação melhor. Os três módulos apresentaram bons resultados na avaliação da envoltória, obtendo nível B, como apresentado no Anexo. Porém o material da cobertura (telha de fibrocimento) possui alta emissividade térmica o que leva à alta transmitância térmica, prejudicando a sua avaliação. Como solução é possível aplicar um revestimento térmico na cobertura para diminuir a transmitância térmica.

### **6.8.2 Sistema de Iluminação**

O sistema de iluminação do CREA-BA foi avaliado pelo método das áreas dos edifícios, neste quesito avaliou-se que os ambientes necessitam de uma melhor distribuição de carga de iluminação e aproveitamento de iluminação natural. Estes quesitos prejudicaram a etiquetagem do CREA-BA fazendo com que seus módulos

ficassem avaliados com níveis C (Módulo I), D (Módulo II) e A (Módulo III). Para solução destes problemas seria necessário um novo projeto elétrico para melhor distribuição das cargas, automatização dos circuitos e aproveitamento das condições ambientes.

### **6.8.3 Sistema de Ar Condicionado**

No sistema de ar condicionado do CREA-BA não houve classificação real quanto ao seu consumo devido à falta de informação dos mesmos.

## **6.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A elaboração do estudo de caso possibilitou a aplicação da metodologia utilizada pelos regulamentos que avaliam a qualidade do nível de eficiência energética de edificações Comerciais, de Serviço e Públicas. Possibilitou questionamentos e a busca para soluções dos problemas encontrados relativos aos objetivos do trabalho.

O procedimento adotado para a obtenção dos resultados do sistema de iluminação possibilitou a exemplificação da metodologia descrita no regulamento – RTQ-C. Considerando-se o erro entre o sistema real e o adotado, pode-se supor que a etiqueta do sistema real não está muito distante do resultado obtido para o sistema de iluminação utilizado, pois a etiqueta representa os níveis de eficiência por um intervalo de valores.

Como ocorrido no estudo de caso, sistemas reais já existentes podem ter as mesmas dificuldades na identificação do nível de eficiência dos equipamentos de ar condicionado não etiquetados pelo PBE/INMETRO. No caso em estudo, foram supostos níveis aleatórios de eficiência energética para os equipamentos existentes, devido à ausência de informações técnicas necessárias para execução da metodologia do RTQ-C. No caso dos equipamentos de ar condicionado etiquetados pelo PBE/INMETRO, percebe-se que equipamentos com diferentes valores de potência apresentam o mesmo COP.

## CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 7.1 CONCLUSÕES

Controlar o crescimento do consumo de energia associado ao crescimento econômico do país requer uma série de medidas que racionalizem o uso de energia. A aplicação do Programa de Etiquetagem de Edificações para promover a eficiência energética no setor de edifícios comerciais, de serviços e públicos é apenas uma dessas medidas.

No decorrer dos capítulos, dois e quatro, observa-se a influência da norma *Standard 90.1* em vários países, mesmo com características climáticas, construtivas, econômicas e culturais muito diferentes. Em grande parte, a proposta de regulamentação brasileira é uma adaptação da norma norte-americana de forma simplificada. Sua maior contribuição é apresentar uma alternativa de análise sem ferramenta de simulação que é o método prescritivo.

O método Prescritivo do RTQ-C é apresentado como um método de avaliação simplificado do nível de eficiência energética. Uma das suas principais limitações está na necessidade de simular a ventilação natural. No referente ao sistema de iluminação a única especificação necessária é a potência dos equipamentos instalados, sendo um método simples e funcional. O Brasil absorveu muitas das ideias da norma *Standard 90.1*, tais como: os métodos de avaliar o sistema de iluminação, a determinação dos métodos e da definição dos ambientes, com adaptações a realidade do país. Já o sistema de condicionamento de ar é o mais simples de se avaliar quando os equipamentos utilizados são etiquetados pelo PBE/INMETRO. Com a aplicação da metodologia do RTQ-C, método Prescritivo, no CREA-BA, verificou-se a dificuldade em obter informações precisas das edificações já existentes, tais como plantas, *as built*, documentos, registros, dados técnicos dos equipamentos existentes, verificou-se também a falta de padronização e planejamento da manutenção dos sistemas existentes. O método de avaliação para equipamentos de CA não avaliados pelo PBE/INMETRO também é pautado na ASHRAE *Standard 90.1*. Com relação à envoltória baseia-se no estudo de Signor et al., em 2001, que foi complementado pelo trabalho de Carlo (2008), onde foi

desenvolvida uma equação de regressão linear multivariada que cria um indicador de eficiência energética da envoltória.

O RTQ-C não contempla os sistemas motrizes, bombeamento d'água, automação predial, adequação tarifária, o que compõe um novo campo a ser explorado. Esses itens são relevantes e também poderiam ser integrados ao programa de etiquetagem. No que se refere aos elevadores, pode-se ressaltar sua importância, embora apresente baixo consumo de energia elétrica, representa a carga que modula a curva de carga do consumo da edificação, sendo determinante para o planejamento adequado do sistema elétrico.

Com a automação de uma edificação torna-se possível determinar a forma como os variados equipamentos existentes serão utilizados, garantindo que o consumo de energia seja realizado de forma racional. Podendo também fornecer informações relevantes a respeito da dinâmica de consumo e da demanda de energia dos diversos sistemas. Sendo assim, o controle automático dos diversos sistemas prediais representa uma oportunidade real para geração da eficiência energética nas edificações, contribuindo assim para o uso racional de energia elétrica.

O uso de regulamentos, de novas tecnologias e de automação são ferramentas que em conjunto proporcionam uma maior oportunidade de alcançar a eficiência energética nas edificações não residenciais, porém não se pode minimizar o papel fundamental dos usuários de tais edificações, que devem ser cada vez mais conscientes do seu papel para o desenvolvimento sustentável.

## 7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O *Commercial Building Energy Consumption Survey* (CBECS) é um levantamento periódico do uso de energia em edifícios comerciais dos EUA, no qual são coletados os dados de área, atividade, materiais construtivos, fontes energéticas e uso para uma amostra de cerca de 5.000 edifícios por todo o território norte-americano. A partir de 1992, tornou-se a base de dados de edifícios não residenciais dos EUA, com dados registrados desde 1986. O Brasil apresenta um déficit em estudos e levantamentos a esse nível de informações, sendo uma das sugestões à realização de um levantamento consolidado com informações de área, atividade,

materiais construtivos, fontes energéticas de edifícios comerciais e institucionais de todo o território nacional, com realização periódica, similar ao CBECS, que pode ser desenvolvido por instituições educacionais de nível superior, institutos federais, etc através de projetos, dissertações e doutorados, juntamente com os laboratórios conveniados ao Procel Edifica.

Com relação ao estudo de caso, sugere-se reavaliar a edificação do CREA-BA utilizando o método de simulação como ferramenta de aprimoramento da aplicação da metodologia do RTQ-C após a implantação das melhorias sugeridas, verificando possíveis dificuldades e limitações.

Também pode ser realizado um novo estudo com a aplicação da metodologia do RTQ-C em edificações onde já exista a aplicação de técnicas de automação predial que possam ser aprimoradas ou atualizadas.

Com a problemática energética que o mundo tem enfrentado e com a crescente demanda de energia em prol do desenvolvimento econômico e social, este trabalho adquiriu também essa experiência, levantando outros pontos a serem incluídos no regulamento, contribuindo para o aperfeiçoamento da proposta de regulamentação do RTQ-C e seu constante aprimoramento.

## REFERÊNCIAS

[ABNT] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ALMEIDA, A. M.; MARTINS, A. G. **Iluminação eficiente em edifícios**: a grande lacuna regulatória. Coimbra: Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra-INESC, 2009.

ARAUJO, J. Jonko; PEREIRA, Carlos, E. Análise de protocolos de automação predial/residencial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 15., 2004, Gramado. **Anais...** Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2004.

[ASHRAE] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-1999**: energy standard for buildings except low-rise residential buildings. Atlanta, 1999.

\_\_\_\_\_. **ANSI/ASHRAE Standard 140-2001**: standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs. Atlanta, 2001. 91 p.

\_\_\_\_\_. **ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004**: energy standard for buildings except low-rise residential buildings. Atlanta, 2004.

\_\_\_\_\_. **ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007**: energy standard for buildings except low-rise residential buildings. Atlanta, 2007a.

\_\_\_\_\_. **ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007**: energy standard for buildings except low-rise residential buildings: I-P Edition. Atlanta, 2007b.

BORDUNI, Ronaldo Nunes. **Simulação computacional para análise de eficiência energética em edificações**. Brasília: UnB, 2006. Projeto de Graduação.

BOULIN, Jean. **Building energy codes**. Department of Energy. Energy Efficiency & Renewable Energy. In: NASEO WORKSHOP, U.S., Feb. 2010. Disponível em: <<http://www.naseo.org/events/energyoutlook/2010/codes/presentations/Boulin.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2011

BRAGA, Laura Caixeta. **Estudo de aspectos de eficiência energética de edificações com uma abordagem de automação predial**. 2007. 164 f. Dissertação (Mestrado em Energia Elétrica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 18 out. 2001a. Seção 1, p. 1.

CARLO. Joyce Correna. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2008. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

\_\_\_\_\_; LAMBERTS, Roberto. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios: parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010.

CAVALCANTE, Rodrigo de Castro Dantas. **Simulação energética para análise da arquitetura de edifícios de escritório além da comprovação de conformidade com códigos de desempenho**. 2010. 135 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CICHINELLI, Gisele C. Tecnologia elevada: segmento diversifica tecnologias de elevação e acessórios de conforto: conheça as novidades e orientações de especialistas para a compra e instalação. **Construção & Mercado**, São Paulo, n. 111, out. 2010. Disponível em: <<http://revista.construcaomercado.com.br/negocios-incorporacao-construcao/111/tecnologia-elevada-segundo-diversifica-tecnologias-de-elevacao-e-acessorios-187267-1.asp>>. Acesso em: 13 maio 2011.

CORREIA, Paulo. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: pesquisa na classe comercial AT**. PROCEL, 2007a. Disponível em: <[http://www.joinville.ifsc.edu.br/~roberto.sales/EFICI%C3%8ANCIA%20ENERG%C3%89TICA/Eletronbras-%20Procel/Avaliacao\\_Setores\\_Comercial\\_e\\_Pr%C3%A9dios\\_P%C3%BAblicos\\_AT.ppt](http://www.joinville.ifsc.edu.br/~roberto.sales/EFICI%C3%8ANCIA%20ENERG%C3%89TICA/Eletronbras-%20Procel/Avaliacao_Setores_Comercial_e_Pr%C3%A9dios_P%C3%BAblicos_AT.ppt)>. Acesso em: 4 jul. 2011.

\_\_\_\_\_. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: pesquisa na classe de prédios públicos**. PROCEL, 2007b. Disponível em: <[http://www.joinville.ifsc.edu.br/~roberto.sales/EFICI%C3%8ANCIA%20ENERG%C3%89TICA/Eletronbras-%20Procel/Avaliacao\\_Setores\\_Comercial\\_e\\_Pr%C3%A9dios\\_P%C3%BAblicos\\_AT.ppt](http://www.joinville.ifsc.edu.br/~roberto.sales/EFICI%C3%8ANCIA%20ENERG%C3%89TICA/Eletronbras-%20Procel/Avaliacao_Setores_Comercial_e_Pr%C3%A9dios_P%C3%BAblicos_AT.ppt)>. Acesso em: 11 jul. 2011.

DIDONÉ, Evelise Leite. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC**. 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA. **Eficiência energética nos edifícios, E4**. Lisboa: Ogilvy & Mather Portugal, fev. 2002a. 48 p.

\_\_\_\_\_. **Eficiência energética nos edifícios, P3E**. Lisboa: Ogilvy & Mather, 2002b. 54 p.

DUTRA, João Batista de Azevedo. **Eficiência energética no controle da vazão em sistemas de bombeamento de água**: uso de válvula e controle de velocidade. Paraíba do Sul, RJ, 2005. 18 p.

EFICIÊNCIA energética. Construmática. Construpedia, la Enciclopedia de la Construcción. Artículo creado gracias a la Construible en el marco del Programa de Afiliados de la Construpedia. Disponível em: <[http://www.construmatica.com/construpedia/Eficiencia\\_Energética](http://www.construmatica.com/construpedia/Eficiencia_Energética)>. Acesso em: 01 jun. 2011.

[ELETROBRÁS] CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso**: ano base 2005: classe comercial: alta tensão: relatório Brasil. 97 f. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <[http://www.joinville.ifsc.edu.br/~roberto.sales/EFE/Elektrobras-%20Procel/Comercial\\_AT\\_Brasil\\_Relatorio\\_Executivo.pdf](http://www.joinville.ifsc.edu.br/~roberto.sales/EFE/Elektrobras-%20Procel/Comercial_AT_Brasil_Relatorio_Executivo.pdf)>. Acesso em: 27 jul. 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional 2007**: ano base 2006. Rio de Janeiro, 2007. 192 p.

\_\_\_\_\_. **Balanco energético nacional 2009**: ano base 2008. Rio de Janeiro, 2009. 274 p.

\_\_\_\_\_. **Balanco energético nacional 2010**: ano base 2009. Rio de Janeiro, 2010. 276 p.

ETIQUETAGEM de eficiência energética de edificações. v. 1. Brasília: LabEEE; Eletrobrás/Procel Edifica; Inmetro, 2009.

FERNANDES, Júlia Teixeira. **Código de obras e edificações do DF**: inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética. 92 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

FREITAS, Karen de. Elevadores oferecem soluções sustentáveis: produtos adotam conceitos de ecoeficiência e reforçam a tendência do green building. **Brasil Alemanha News**, São Paulo, 20 jul. 2010. Disponível em: <http://www.brasilalemanhanews.com.br/Noticia.aspx?id=532>>. Acesso em: 03 mar. 2011.

GARRIDO, Daniel Brito. **Projeto de eficiência energética na iluminação do Hospital Universitário de Maceió**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Departamento de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, [s.d.].

GOBIERNO DE ESPAÑA. Ministerio de Vivienda. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. **Boletín Oficial del Estado (BOE)**, n. 74, 28 marzo 2006. Sección 5515, p. 11816-11831.

\_\_\_\_\_. Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas. **Documento basico HE: ahorro de energía.** 2009. Disponível em: <[http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB\\_HE\\_abril\\_2009.pdf](http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB_HE_abril_2009.pdf)>. Acesso em: 03 abr. 2011.

GOMAZAKO, Marcone Susumu. **Conservação de energia em edifícios comerciais através da implementação de dispositivos de automação.** 2007. 207 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

GOULART, Solange V. G. **Convênio ECV-007/2004 Eletrobrás/UFSC: AET n° 03/04 - levantamento da experiência internacional: experiência nos Estados Unidos.** Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações Engenharia Civil da UFSC, 2005a. Relatório LabEEE-200508. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/RT200508.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2010.

\_\_\_\_\_. **Convênio ECV-007/2004 Eletrobrás/UFSC: AET n° 03/04 - levantamento da experiência internacional: experiência europeia.** Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações Engenharia Civil da UFSC, 2005b. Relatório LabEEE-200520. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/RT200520.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2010.

HONG, Wen et al. **Building energy efficiency: why green buildings are key to Asia's future.** Asia Business Council. Hong Kong, 2007. Disponível em: <<http://www.asiabusinesscouncil.org/BEE.html>>. Acesso em: 26 set. 2011.

[IBAPE SP] INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA DE SÃO PAULO. **Inspeção predial: check-up predial: guia da boa manutenção.** 2. ed. São Paulo: Liv. e Ed. Universitária de Direito, 2009. Vários autores e colaboradores.

[INMETRO] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria 372, de 17 de setembro de 2010.** Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/legislacao/detalhe.asp?seq\\_classe=1&seq\\_ato=1599](http://www.inmetro.gov.br/legislacao/detalhe.asp?seq_classe=1&seq_ato=1599)>. Acesso em: 07 nov. 2010.

KONIGAMI, Tanuska T. et al. **Regulamentação de etiquetagem de edifícios comerciais, de serviços e públicos.** In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO, 7., 2011, Salvador, BA.

LAMBERTS, Roberto et al. Regulamentação de etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética de edifícios comerciais e públicos. In: ENCAC 2007 - ENCONTRO NACIONAL, 9., ENCONTRO LATINO-AMERICANO, 5., DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2007, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto: ENCAC, 2007. p. 1019-1028.

LIMA, Glênio Leilson Ferreira. **Influência de variáveis arquitetônicas no desempenho energético de hotéis no clima quente e úmido da cidade de Natal/RN**. 2007. 158 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

LOURA, Rejane Magiag. **Procedimento de Identificação de variáveis e análise de sua pertinência em avaliações termo-energéticas de edificações**. 2006. 212 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

MAGALHÃES, Luiz Carlos. **Orientações gerais para conservação de energia elétrica em prédios públicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, abr. 2011.

MALDONADO, Eduardo. **A Directiva Europeia 2002/91/CE sobre o desempenho energético dos edifícios**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. Trabalho apresentado no INETI - SEMINÁRIO GREEN-IT, 30 jun. 2006. Disponível em: <[http://www.green-it.eu/userdata/documentsPortugal/7\\_11.00\\_Directiva\\_EPBD.pdf](http://www.green-it.eu/userdata/documentsPortugal/7_11.00_Directiva_EPBD.pdf)>. Acesso em: 11 jan. 2011.

\_\_\_\_\_; NASCIMENTO, C. Implementação da EPBD em Portugal: ponto da situação e planeamento futuro. EPBD Building Plataform, P08, 11 set. 2006. Disponível em: <<http://buildup.eu/publications/1035>> Acesso em: 28 mar. 2011.

MANUAL de aplicação dos requisitos técnicos da qualidade - RTQ-C e regulamento de avaliação da conformidade - RAC-C. v. 4. Brasília: LabEEE; Eletrobrás/Procel Edifica; Inmetro, 2010.

MARQUES, Milton César Silva; HADDAD, Jamil; MARTINS, André Ramon Silva. (Coord.) **Conservação de energia**: eficiência energética de instalações e equipamentos. Itajubá, MG: Procel/Eletrobrás; UNIFEI; FUPAI, 2001. 467 p.

MARQUES, Milton César Silva; HADDAD, Jamil; GUARDIA, Eduardo Crestana (Coord.). **Eficiência Energética**: teoria & prática. 1. ed. Itajubá, MG: Eletrobrás/Procel Educação; UNIFEI; FUPAI, 2007.

MASCHERONI, José M. (Coord.). **Guia de aplicações de inversores de frequência – WEG**. Jaraguá do Sul: WEG, [s.d.]. 238 p.

MONACHESI, Marcelo Gaio; MONTEIRO, Marco Aurélio Guimarães. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel Sanear, [2005]. 103 p. (Manual Prático).

MONTEBELLER, Sidney José. **Estudo sobre o emprego de dispositivos sem fios**: wireless na automação do ar condicionado e de outros sistemas prediais. 2006. 129 f. (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MOREIRA, Vinícius de Araújo. **Iluminação elétrica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

NEVES, Raísa Pereira Alves de Azevêdo. **Espaços arquitetônicos de alta tecnologia: os edifícios inteligentes**. 2002. 166 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

\_\_\_\_\_; CARAM, R. M. Identificação das tecnologias para conforto ambiental e eficiência energética utilizadas pelos chamados edifícios inteligentes. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES: ENCAC-COTEDI, 7., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2003.

PENA, Sérgio Meirelles. **Sistemas de ar condicionado e refrigeração**. Rio de Janeiro: Procel/Eletróbrás, jul. 2002.

PHILIPS. **Guia de iluminação**. 3. ed. São Paulo: LAC - Lighting Application Center, 2005. 64 p. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/20188875/Guia-Iluminacao-2005-PHILIPS>>.

PORTUGAL, Virgínia. **Eficiência energética no setor de shopping centers**. Rio de Janeiro: Programa de Capacitação para o Desenvolvimento de Projetos de Eficiência Energética e Energias Renováveis - BECBP, 2007. Disponível em: <<http://dc97.4shared.com/doc/ZMWp-YjV/preview.html>>. Acesso em: 05 nov. 2010.

RAMOS, Greice; LAMBERTS, Roberto. **Relatório técnico do método de avaliação do sistema de iluminação do RTQ-C**. Florianópolis: LabEEE/UFSC, [2010].

RICHMAN, Eric L. C. **ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007: an overview of the lighting and power requirements**. Richland, WA, USA: Pacific Northwest National Laboratory, 10 Jan. 2008. 40 p. Apresentação gráfica.

ROCKENBACH, Suzete. **Arquitetura, automação e sustentabilidade**. 2004. 192 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RODRIGUES, Pierre. **Manual de iluminação eficiente**. 1. ed. Rio de Janeiro: Procel/Eletróbrás, jul. 2002.

SANTOS, Iara Gonçalves dos; SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de. Revisão de regulamentações em eficiência energética: uma atualização das últimas décadas. **Fórum Patrimônio – Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v. 1, n. 1, 2007. Disponível em: <[www.forumpatrimonio.com.br/view\\_full.php?articleID=109&modo=1](http://www.forumpatrimonio.com.br/view_full.php?articleID=109&modo=1)>. Acesso em: 26 set. 2011.

SANTOS, Solange Nogueira Puente. **Avaliação do desempenho energético como instrumento de sustentabilidade em edificações**. In: CONGRESSO BRASILEIRO

SOBRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 6., 2009, São Paulo. Apresentação gráfica da palestra proferida em 23 jul. 2009.

SILVA, Everton Lopes da. **Sistema de automação aplicado a eficiência energética predial em instituições de ensino superior**: um estudo de caso na Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. 2006. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

SILVA, Mauri Luiz da. **Luz, lâmpadas e iluminação**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2004. 160 p.

SIMAS, Silvana Rosado Negreiros Gadelha. **Análise de custo-benefício de sistemas de cobertas em edificações comerciais para o clima de Natal/RN visando eficiência energética**. 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de (Coord.). **Sustentabilidade e eficiência energética no ambiente construído**. Belo Horizonte: CREA-MG, 2009.

TECNOLOGIA garante elevadores econômicos e menos poluentes. **Seu Elevador**, São Paulo, n. 20, série 2, p. 2, 2010. Disponível em: <<http://www.thyssenkruppelevadores.com.br/site/catalogos-documentos/Default.aspx#abaInf03>>. Acesso em: 04 mar. 2011.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Energy Efficiency and Renewable Energy. Energy Codes Program. **ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004**: energy standard for buildings except low-rise residential buildings. Atlanta, 2004.

## ANEXO – RESULTADOS DA ENVOLTÓRIA - MÉTODO PRESCRITIVO

Neste tópico é apresentada a avaliação do sistema de envoltória do prédio do CREA-BA utilizando-se o método prescritivo do RTQ-C.

### 1.1 MÓDULO I

l) Cálculo da área de aberturas das fachadas de acordo com a orientação

- **Noroeste**

1 Porta	3,40 x 2,20 m
---------	---------------

- **Sudeste**

1 Janela	2,75 x 0,80 m
2 Janelas	3,00 x 1,50 m
7 Janelas	0,30 x 1,50 m
4 Janelas	1,40 x 1,50 m
1 Janela	1,50 x 0,80 m
2 Janelas	1,60 x 0,80 m
1 Porta	3,40 x 2,20 m

- **Sudoeste**

1 Janela	1,56 x 1,88 m
----------	---------------

- **Nordeste**

1 Porta	1,39 x 2,30 m
---------	---------------

Fachadas	Noroeste	Sudeste	Sudoeste	Nordeste
Área de Abertura - A <sub>abertura</sub> (m <sup>2</sup> )	7,48	33,99	2,93	3,20

## II) Cálculo das variáveis das equações

$A_{pe} = 853,21 \text{ m}^2$	Área de projeção do edifício
$A_{pcob} = 853,21 \text{ m}^2$	Área de projeção da cobertura
$A_{TOT} = 853,21 \text{ m}^2$	Área total de piso
$A_{env} = 1.348,05 \text{ m}^2$	Área da envoltória
$V_{TOT} = 2.559,63 \text{ m}^3$	Volume total

$\sum A_{abertura} =$	47,60 m <sup>2</sup>	Somatório da área de abertura
$A_{fachada} =$	494,84 m <sup>2</sup>	Área da fachada
Noroeste****	182,71 m <sup>2</sup>	
Nordeste***	64 m <sup>2</sup>	
Sudoeste***	64 m <sup>2</sup>	
Sudeste	184,13 m <sup>2</sup>	

**Observações:**

\*\*\* Para o cálculo dessas fachadas foi retirada a área do círculo do elemento decorativo.

\*\*\*\* Para o cálculo dessa fachada foi retirada a área da parte treliçada.

$$PAF_T = \frac{\sum A_{abertura}}{A_{fachada}} = \frac{47,60}{494,84} = 0,096$$

Percentual de abertura da fachada total

$\sum A_{abertura \text{ oeste}} = 10,41 \text{ m}^2$	Somatório da área de abertura oeste (NO e SO)
$A_{fachada \text{ oeste}} = 246,71 \text{ m}^2$	Área da fachada oeste (NO e SO)

$$PAF_o = \frac{\sum A_{aberturaoeste}}{A_{fachadaoeste}} = \frac{10,41}{246,71} = 0,04$$

Percentual de abertura da fachada oeste

$PAF_T + 20\% PAF_T = 0,11 > PAF_o$ , logo será utilizado o  $PAF_T$  nos cálculos a seguir.

$$FA = \frac{A_{cob}}{A_{tot}} = \frac{853,21}{853,21} = 1$$

Fator de altura

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{tot}} = \frac{1348,05}{2559,63} = 0,53$$

Fator de forma

Como  $A_{pe} > 500m^2$  e  $FF > FF_{\min}$  ( $FF_{\min} = 0,17$ ) será adotado  $FF$  nos cálculos (INMETRO, 2010, p. 33).

O fator solar (FS) de elementos transparentes ou translúcidos é dado pela expressão abaixo e os demais dados são obtidos através do fabricante do vidro (ABNT, 2003, p. 6):

<b>Propriedades do Vidro</b>	
Transmitância térmica	5,8 W/(m <sup>2</sup> .k)
Transmitância a radiação solar	28%
Absortância solar	54%
Resistência superficial externa	0,04 (m <sup>2</sup> .k)/W

Fonte: Manual..., 2010, p. 43.

$$FS_t = U \cdot \alpha \cdot R_{se} + \tau$$

$$FS = 5,8 \cdot 0,54 \cdot 0,04 + 0,28 = 0,4$$

Considerou-se o mesmo fator solar para os três módulos.

FS = 0,4	Fator solar
AVS = 16,40 °	Ângulo vertical de sombreamento
AHS = 2,50 °	Ângulo horizontal de sombreamento

III) Cálculo do indicador de consumo e determinação do nível de eficiência da envoltória

Para o cálculo do indicador de consumo da envoltória, devem-se comparar os parâmetros calculados com os  $IC_{\max}$  e  $IC_{\min}$  (INMETRO, 2010, p. 35).

Parâmetro	$IC_{\text{env}}$	$IC_{\text{máx}}$	$IC_{\text{mín}}$
$A_{\text{pe}}$	853,21	853,21	853,21
FA	1	1	1
FF	0,53	0,53	0,53
$PAF_T$	0,096	0,6	0,05
FS	0,4	0,61	0,87
AVS	16,40°	0°	0°
AHS	2,50°	0°	0°

IV) Equação para cálculo do indicador de consumo (IC)

Como a zona bioclimática é 8 e  $A_{\text{pe}} > 500\text{m}^2$ , obtemos a fórmula para o cálculo do  $IC_{\text{env}}$  (INMETRO, 2010, p. 33):

Limite: Fator de forma mínimo ( $A_{\text{env}}/V_{\text{tot}} = 0,17$ )

$$IC_{\text{env}} = -160,36.FA + 1277,29.FF - 19,21.PAF_T + 2,95.FS - 0,36.AVS - 0,16.AHS + 290,25.FF.PAF_T + 0,01.PAF_T.AVS.AHS - 120,58$$

Substituindo os dados da tabela obtém-se:

$IC_{\text{env}} = 403,86$
$IC_{\text{máx}} = 478,60$
$IC_{\text{mín}} = 405,32$

Cálculo do intervalo das faixas de consumo (i) (INMETRO, 2010, p. 35):

$$i = \frac{478,60 - 405,32}{4} = 18,32$$

## V) Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	423,65	441,97	460,29	478,61
Limite inferior	423,64	441,96	460,28	478,60	-

Como o  $IC_{env.} = 403,86$ , o nível de eficiência é **Nível A**, o que equivale ao EqnumEnv é 5 (INMETRO, 2010, p.15).

Para manter o nível determinado verificam-se os pré-requisitos a seguir:

### 1.1.1 Avaliação os pré-requisitos: Módulo I

#### 1. Transmitâncias

##### Paredes:

Para mantermos o nível A, com zona bioclimática 8, a transmitância térmica máxima deve ser de 2,5 W/(m<sup>2</sup>.K) para paredes com capacidade térmica máxima de 80 kJ/(m<sup>2</sup>.K) e de 3,7 W/(m<sup>2</sup>.K) para paredes com capacidade térmica superior a 80 kJ/(m<sup>2</sup>.K) (INMETRO, 2010, p. 24) .

$$U_{parede} \quad 2,43 \text{ W/(m}^2\text{.K)} < 2,5 \text{ (ok)}$$

##### Cobertura:

Para o Nível A: A transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ ) de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar 1,0 W/(m<sup>2</sup>.K) (INMETRO, 2010, p. 24).

Para o Nível B: A transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ ) de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar 1,5 W/(m<sup>2</sup>.K) (INMETRO, 2010, p. 25).

Para o Nível C e D: A transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ ) de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar 2,0 W/(m<sup>2</sup>.K) (INMETRO, 2010, p. 27).

$$U_{cob} \quad 1,466 \text{ W/(m}^2\text{.K)} \text{ não passa no nível A , pois } U_{cob} > 1,00$$

$$\text{Cai para o nível B, pois } U_{cob} < 1,5 \text{ (ok)}$$

O módulo I obteve nível A conforme o índice de consumo da envoltória e a avaliação dos pré-requisitos de acordo com o RTQ-C, o qual estabelece que os índices devam ser equivalentes, ficando classificado o Módulo I com **Nível B.**

## 2. Absortâncias

Como o nível de eficiência é B, não há pré-requisitos para absortâncias. No caso do CREA-BA, este possui telha de fibrocimento em tom de reboco claro, que segundo a Tabela B.2 - Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas) - apresenta valor de  $0,3 < \alpha < 0,5$  (ABNT, 2003, p. 8).

### 1.2 MÓDULO II

I) Cálculo da área de aberturas das fachadas:

- **Noroeste**

1 Janela	2,00 x 2,20 m
4 Janelas	2,40 x 1,50 m
3 Janelas	1,40 x 1,50 m
1 Janela	2,75 x 0,80 m
1 Porta	2,15 x 2,40 m

- **Sudeste**

2 Janelas	2,00 x 2,20 m
1 Janela	1,40 x 1,50 m
4 Janelas	2,40 x 1,50 m
2 Janelas	3,00 x 1,50 m

- **Sudoeste**

1 Janela	1,50 x 1,80 m
1 Janela	0,60 x 0,80 m

- **Nordeste**

1 Janela	1,50 x 1,80 m
----------	---------------

Fachadas	Noroeste	Sudeste	Sudoeste	Nordeste
Área de Abertura - $A_{abertura}$ (m <sup>2</sup> )	32,46	34,30	3,18	2,70

## II) Variáveis das equações

$A_{pe} =$	660,88 m <sup>2</sup>	Área de projeção do edifício
$A_{pcob} =$	660,88 m <sup>2</sup>	Área de projeção da cobertura
$A_{TOT} =$	660,88 m <sup>2</sup>	Área total de piso
$A_{env} =$	1.004,17 m <sup>2</sup>	Área da envoltória
$V_{TOT} =$	1.982,64 m <sup>3</sup>	Volume total

$\Sigma A_{abertura} = 72,64$ m <sup>2</sup>	Somatório da área de abertura
$A_{fachada} = 343,29$ m <sup>2</sup>	Área da fachada
Noroeste**** 109,365 m <sup>2</sup>	
Nordeste*** 62,28 m <sup>2</sup>	
Sudoeste*** 62,28 m <sup>2</sup>	
Sudeste**** 109,365 m <sup>2</sup>	

### Observações:

\*\*\* Para o cálculo dessas fachadas foi retirada a área do círculo do elemento decorativo.

\*\*\*\* Para o cálculo dessas fachadas foi retirada a área da parte treliçada.

$$PAF_T = \frac{\sum A_{abertura}}{A_{fachada}} = \frac{72,64}{343,29} = 0,212 \quad \text{Percentual de abertura da fachada total}$$

$\Sigma A_{abertura\ oeste} = 35,64$ m <sup>2</sup>	Somatório da área de abertura oeste
$A_{fachada\ oeste} = 171,64$ m <sup>2</sup>	Área da fachada oeste

$$PAF_o = \sum \frac{Abertura_{oeste}}{Fachada_{oeste}} = \frac{35,64}{171,64} = 0,21 \quad \text{Percentual de abertura da fachada oeste}$$

$PAF_T + 20\% PAF_T = 0,25 > PAF_o$ , logo será utilizado o  $PAF_T$  nos cálculos a seguir.

$$FA = \frac{Acob}{Atot} = \frac{660,88}{660,88} = 1 \quad \text{Fator de altura}$$

$$FF = \frac{Aenv}{Vtot} = \frac{1004,17}{1982,64} = 0,51 \quad \text{Fator de forma}$$

<b>FS =</b>	<b>0,4</b>	Fator solar
<b>AVS =</b>	<b>3,20°</b>	Ângulo vertical de sombreamento
<b>AHS =</b>	<b>0,97°</b>	Ângulo horizontal de sombreamento

III) Cálculo do indicador de consumo e determinação do nível de eficiência da envoltória

Para o cálculo do indicador de consumo da envoltória, devem-se comparar os parâmetros calculados com os  $IC_{max}$  e  $IC_{min}$ .

Parâmetro	$IC_{env}$	$IC_{máx}$	$IC_{mín}$
<b>A<sub>pe</sub></b>	660,88	660,88	660,88
<b>FA</b>	1	1	1
<b>FF</b>	0,51	0,51	0,51
<b>PAF<sub>T</sub></b>	0,212	0,6	0,05
<b>FS</b>	0,4	0,61	0,87
<b>AVS</b>	3,20°	0°	0°
<b>AHS</b>	0,97°	0°	0°

IV) Equação para cálculo do Indicador de consumo (IC)

Como a zona bioclimática é 8, e  $A_{pe} > 500 \text{ m}^2$ , obtemos a fórmula para o cálculo do  $IC_{env}$  (INMETRO, 2010, p. 33):

Limite: Fator de forma mínimo ( $A_{env}/V_{tot}$ ) = 0,17

$$IC_{env} = -160,36.FA + 1277,29.FF - 19,21.PAF_T + 2,95.FS - 0,36.AVS - 0,16.AHS + \\ + 290,25.FF.PAF_T + 0,01.PAF_T.AVS.AHS - 120,58$$

Substituindo os dados da tabela, tem-se:

$$IC_{env} = 397,67$$

$$IC_{m\acute{a}x} = 449,57$$

$$IC_{m\acute{i}n} = 379,48$$

Cálculo do intervalo das faixas de consumo (i) (INMETRO, 2010, p. 35):

$$i = \frac{449,57 - 379,48}{4} = 17,52$$

V) Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

Eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	397,02	414,54	432,06	449,58
Limite inferior	397,01	414,53	432,05	449,57	-

Como o  $IC_{env.} = 397,67$  o nível de eficiência é **Nível B**, o que equivale ao EqNumEnv ser 4 (INMETRO, 2010, p. 15).

Para manter o nível determinado verificam-se os pré-requisitos a seguir:

### 1.2.1 Avaliação dos pré-requisitos: Módulo II

#### 1. Transmitâncias

##### Paredes:

Para mantermos o nível B, com zona bioclimática 8, a transmitância térmica máxima deve ser de 2,5 W/(m<sup>2</sup>.K) para paredes com capacidade térmica máxima de 80

$\text{kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$  e de  $3,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  para paredes com capacidade térmica superior a  $80 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$  (INMETRO, 2010, p. 25).

$$U_{\text{parede}} \quad 2,43 \quad \text{W}/(\text{m}^2.\text{K}) \quad < 2,5 \quad (\text{ok})$$

### **Cobertura:**

Para o Nível A: A transmitância térmica da cobertura ( $U_{\text{cob}}$ ) de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  (INMETRO, 2010, p. 24).

Para o Nível B: A transmitância térmica da cobertura ( $U_{\text{cob}}$ ) de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar  $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  (INMETRO, 2010, p. 25).

Para o Nível C e D: A transmitância térmica da cobertura ( $U_{\text{cob}}$ ) de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar  $2,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  (INMETRO, 2010, p. 27).

$$U_{\text{cobertura}} \quad 1,466 \quad \text{W}/(\text{m}^2.\text{K}) \quad \text{Satisfaz o pré-requisito para o nível B, pois } U_{\text{cob}} < 1,5 \quad (\text{ok})$$

O módulo II obteve nível B conforme o índice de consumo da envoltória e a avaliação dos pré-requisitos de acordo com o RTQ-C, o qual estabelece que os índices devam ser equivalentes, ficando classificado o Módulo II com **Nível B.**

## 2. Absortâncias

Como o nível de eficiência é B, não há pré-requisitos para absortâncias. No caso do CREA, este possui telha de fibrocimento em tom de reboco claro, que pela Tabela B.2 - Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas) - com valor de  $0,3 < \alpha < 0,5$  (ABNT, 2003a, p. 8).

### 1.3 MÓDULO III

#### I) Cálculo da área de aberturas das fachadas

- **Noroeste**

6 Janelas	0,30 x 0,80 m
-----------	---------------

1 Porta	1,60 x 2,10 m
1 Porta	1,80 x 2,10 m

- **Sudeste**

1 Janela	2,40 x 0,80 m
1 Janela	0,30 x 1,50 m
1 Janela	0,50 x 0,80 m
1 Porta	1,80 x 2,10 m

- **Sudoeste**

2 Janelas	2,30 x 0,80 m
1 Janela	1,50 x 0,80 m

- **Nordeste**

1 Porta	3,40 x 2,20 m
3 Janelas	0,30 x 1,50 m

Fachadas	Noroeste	Sudeste	Sudoeste	Nordeste
Área de Abertura - $A_{abertura}$ (m <sup>2</sup> )	8,58	6,55	4,88	8,83

## II) Variáveis das equações

$A_{pe} =$	388,32 m <sup>2</sup>	Área de projeção do edifício
$A_{pcob} =$	388,32 m <sup>2</sup>	Área de projeção da cobertura
$A_{TOT} =$	388,32 m <sup>2</sup>	Área total de piso
$A_{env} =$	707,62 m <sup>2</sup>	Área da envoltória
$V_{TOT} =$	1.164,96 m <sup>3</sup>	Volume total

$A_{fachada} = 319,3 \text{ m}^2$	Área da fachada
Noroeste = 106,92 m <sup>2</sup>	
Sudeste = 107,32 m <sup>2</sup>	
Nordeste = 52,53 m <sup>2</sup>	
Sudoeste = 52,53 m <sup>2</sup>	

$$PAF_T = \sum \frac{Area_{Abertura}}{Área_{fachada}} = \frac{28,84}{319,3} = 0,09$$

Percentual de abertura da fachada total

$\sum A_{abertura\ oeste} = 13,46 \text{ m}^2$	Somatório da área de abertura oeste (NO e SO)
$A_{fachada\ oeste} = 159,45 \text{ m}^2$	Área da fachada oeste (NO e SO)

$$PAF_o = \sum \frac{Abertura_{oeste}}{Fachada_{oeste}} = \frac{13,46}{159,45} = 0,084$$

Percentual de abertura da fachada oeste

$PAF_T + 20\% PAF_T = 0,108 > PAF_o$ , logo será utilizado o  $PAF_T$  nos cálculos a seguir.

$$FA = \frac{Acob}{Atot} = \frac{388,32}{388,32} = 1$$

Fator de altura

$$FF = \frac{Aenv}{Vtot} = \frac{707,62}{1164,96} = 0,61$$

Fator de forma

Como  $A_{pe} < 500 \text{ m}^2$ ,  $FF > FF_{m\acute{a}x}$  ( $FF_{m\acute{a}x} = 0,48$ ) será adotado  $FF_{m\acute{a}x}$  nos cálculos (INMETRO, 2010, p. 33).

<b>FS =</b>	<b>0,4</b>	Fator solar
<b>AVS =</b>	<b>31,05°</b>	Ângulo vertical de sombreamento
<b>AHS =</b>	<b>0°</b>	Ângulo horizontal de sombreamento

III) Cálculo do indicador de consumo e determinação do nível de eficiência da envoltória

Para o cálculo do indicador de consumo da envoltória, devem-se comparar os parâmetros calculados com os  $IC_{\max}$  e  $IC_{\min}$ .

Parâmetros	$IC_{\text{env}}$	$IC_{\text{máx}}$	$IC_{\text{mín}}$
$A_{pe}$	388,32	388,32	388,32
FA	1	1	1
FF	0,48	0,48	0,48
$PAF_T$	0,09	0,6	0,05
FS	0,4	0,61	0,87
AVS	31,05°	0°	0°
AHS	0°	0°	0°

IV) Equação para cálculo do Indicador de consumo (IC)

Como a zona bioclimática é 8, e  $A_{pe} < 500 \text{ m}^2$ , obtemos a fórmula para o cálculo do  $IC_{\text{env}}$  (INMETRO, 2010, p. 35):

Limite: Fator de forma máximo ( $A_{\text{env}}/V_{\text{tot}} = 0,48$ )

$$IC_{\text{env}} = 454,47.FA - 1641,37.FF + 33,47.PAF_T + 7,06.FS + 0,31.AVS - 0,29.AHS - 1,27.PAF_T.AVS + 0,33.PAF_T.AHS + 718$$

Substituindo os dados da tabela tem-se:

$IC_{\text{env}} = 396,52$
$IC_{\text{Máx}} = 409,00$
$IC_{\text{mín}} = 392,43$

Cálculo do intervalo das faixas de consumo (i) (INMETRO, 2010, p. 35):

$$i = \frac{409 - 392,43}{4} = 4,14$$

V) Limites dos intervalos dos níveis de eficiência

<b>Eficiência</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
Limite superior	-	396,59	400,73	404,87	409,01
Limite inferior	396,58	400,72	404,86	409,00	-

Como  $\boxed{IC_{env} = 396,52}$  o nível de eficiência é **Nível A**, o que equivale ao EqNumEnv é 5 (INMETRO, 2010, p. 15).

Para manter o nível determinado verificam-se os pré-requisitos a seguir:

### 1.3.1 Avaliação dos pré-requisitos: Módulo III

#### 1. Transmitâncias

##### **Paredes:**

Para mantermos o nível A, com zona bioclimática 8, a transmitância térmica máxima deve ser de 2,5 W/(m<sup>2</sup>.K) para paredes com capacidade térmica máxima de 80 kJ/(m<sup>2</sup>.K) e de 3,7 W/(m<sup>2</sup>.K) para paredes com capacidade térmica superior a 80 kJ/(m<sup>2</sup>.K) (INMETRO, 2010, p. 24).

$$\boxed{U_{parede} \quad 2,43 \quad W/(m^2.K)} < 2,5 \text{ (ok)}$$

##### **Cobertura:**

Para o Nível A: A transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ ) de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar 1,0 W/(m<sup>2</sup>.K) (INMETRO, 2010, p. 24).

Para o Nível B: A transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ ) de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar 1,5 W/(m<sup>2</sup>.K) (INMETRO, 2010, p. 25).

Para o Nível C e D: A transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ ) de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar 2,0 W/(m<sup>2</sup>.K) (INMETRO, 2010, p. 27).

$U_{\text{cobertura}} = 1,466 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  Não passa no nível A, pois  $U_{\text{cob}} > 1,00$

Cai para o nível B, pois  $U_{\text{cob}} < 1,5$  (ok)

O módulo III obteve nível A conforme o índice de consumo da envoltória e a avaliação dos pré-requisitos de acordo com o RTQ-C, o qual estabelece que os índices devam ser equivalentes, ficando classificado o Módulo III com **Nível B.**

## 2. Absortâncias

Como o nível de eficiência é B, não há pré-requisitos para absortâncias. No caso do CREA, este possui telha de fibrocimento em tom de reboco claro, que pela Tabela B.2 - Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas) - com valor de  $0,3 < \alpha < 0,5$  (ABNT, 2003a, p. 8).

### 2.1 Cálculo dos pré-requisitos

#### 2.1.1 Transmitância térmica da cobertura

Calculou-se a transmitância térmica da área de cobertura ( $U_{\text{cob}}$ ). Para este cálculos foram considerados a cobertura com telha de fibrocimento de 8 mm com forro de PVC com de 5 cm de espessura conforme planta baixa. Nos corredores onde possui telha metálica não será necessário calcular a transmitância térmica, pois este material tem baixa emissividade, boa área de ventilação e proteção térmica.

$$A = 3,85 \times 7,50 = 28,88 \text{ m}^2 \quad \text{Área da telha}$$

$$S = 0,198 \text{ cm}^2 \quad \text{Área total de abertura de ventilação}$$

$$S/A = 0,006857143 \quad \text{Área de ventilação}$$

$$R_t = \frac{e_{\text{fibro - cimento}}}{\lambda_{\text{fibro - cimento}}} + R_{ar} + \frac{e_{pvc}(\text{m}^2 \cdot \text{K})}{\lambda_{pvc} \text{ W}}$$

$$RT = R_{si} + R_t + R_{se}$$

$$UT = 1/RT$$

$e_{\text{fibro-cimento}}$ : Espessura da telha de fibrocimento
$\lambda_{\text{fibro-cimento}}$ : Condutividade térmica da telha de fibrocimento
$R_{ar}$ : Resistência da camada de ar
$e_{PVC}$ : Espessura do forro de PVC
$\lambda_{pvc}$ : Condutividade térmica PVC
$R_{si}$ : Resistência térmica superficial interna
$R_{se}$ : Resistência térmica superficial externa

Para valores de  $\lambda_{\text{fibrocimento}}$  e  $\lambda_{PVC}$  ver Tabela B.3 - Densidade de massa aparente ( $\rho$ ), condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) de materiais (ABNT, 2003, p. 9), já para o valor de  $R_{ar}$  ver Tabela B.1 – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura (ABNT, 2003, p. 8) e para  $R_{si}$ ,  $R_{se}$  ver Tabela A.1 - Resistência térmica superficial interna e externa (ABNT, 2003a, p. 7).

Resistência térmica ( $R_t$ )

$$R_{ar} = 0,21 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

$$R_t = 0,0123 + 0,21 + 0,25 = \mathbf{0,4723 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}}$$

Resistência térmica total (RT)

$$RT = 0,17 + 0,4723 + 0,04 = \mathbf{0,6823 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}}$$

Transmitância térmica da cobertura ( $U_T$ )

$$U_T = \mathbf{1,466 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}}$$

### 2.1.2 Parede de tijolos cerâmicos de seis furos rebocados em ambas as faces

Para o cálculo da transmitância das paredes foram consideradas paredes padrões, com reboco de dos dois lados com argamassa e bloco de cerâmica com seis furos.

Dados:

Dimensões do tijolo = 32 cm x 16 cm x 10 cm

$$\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3$$

Resistência cerâmica

$$\lambda_{\text{cerâmica}} = 0,90 \text{ W/(m.K)}$$

Condutividade térmica cerâmica

$$C_{\text{cerâmica}} = 0,92 \text{ kJ/(kg.K)}$$

Calor específico cerâmica

$$\rho_{\text{argamassa}} = \rho_{\text{reboco}} = 2.000 \text{ kg/m}^3$$

Resistência argamassa

$$\lambda_{\text{argamassa}} = \lambda_{\text{reboco}} = 1,15 \text{ W/(m.K)}$$

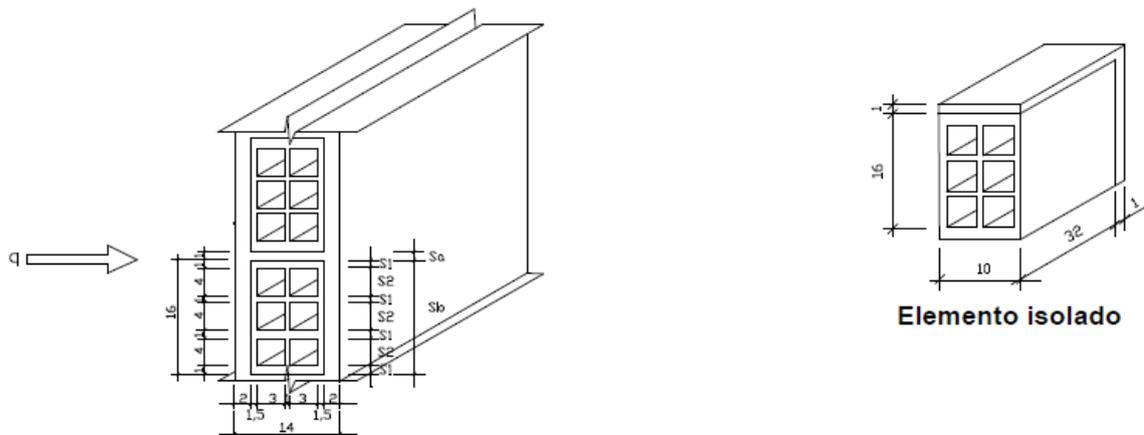
Condutividade térmica argamassa

$$C_{\text{argamassa}} = C_{\text{reboco}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$$

Calor específico cerâmica

Os valores acima foram obtidos da Tabela B.3 (ABNT, 2003a, p. 9).

Para a câmara de ar,  $R_{\text{ar}} = 0,16 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$  obtido da Tabela B.1, com superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar = 3,0 cm e fluxo horizontal (ABNT, 2003a, p. 8).



**Figura 1** – Parede de tijolos cerâmicos de seis furos rebocados em ambas as faces - vista em perspectiva

Fonte: ABNT, 2003a, p. 14.

### a) Resistência térmica do tijolo ( $R_{\text{tijolo}}$ )

Seção 1 (tijolo):

$$A_1 = 0,01 \times 0,32 = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}}$$

$$R_1 = \frac{0,10}{0,90} = 0,1111(m^2.K)/W$$

Seção 2 (tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo):

$$A_2 = 0,04 \times 0,32 = 0,0128 \text{ m}^2$$

$$R_2 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}}$$

$$R_2 = \frac{0,015}{0,90} + 0,16 + \frac{0,015}{0,90} + 0,16 + \frac{0,015}{0,90} = 0,3644 (m^2.K)/W$$

Portanto, a resistência do tijolo será:

$$R_{\text{tijolo}} = \frac{4.A_1 + 3.A_2}{\frac{4.A_1}{R_1} + \frac{3.A_2}{R_2}} = \frac{4.0,0032 + 3.0,0128}{\frac{4.0,0032}{0,1111} + \frac{3.0,0128}{0,3644}} = \frac{0,0512}{0,2206} = 0,2321(m^2.K)/W$$

## **b) Resistência térmica da parede (R<sub>t</sub>)**

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,32 + 0,01 \times 0,17 = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}}$$

$$R_a = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,10}{1,15} + \frac{0,02}{1,15} = 0,1217(m^2.K)/W$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,16 \times 0,32 = 0,0512 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + R_{\text{tijolo}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}}$$

$$R_b = \frac{0,02}{1,15} + 0,2321 + \frac{0,02}{1,15} = 0,2669(m^2.K)/W$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0049 + 0,0512}{\frac{0,0049}{0,1217} + \frac{0,0512}{0,2669}} = \frac{0,0561}{0,2321} = 0,2417 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

**c) Resistência térmica total ( $R_T$ )**

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,2417 + 0,04 = 0,4117 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

**d) Transmitância térmica**

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,4117} = 2,43 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

**e) Capacidade térmica**

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,32 + 0,01 \times 0,17 = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}}$$

Como  $\rho_{\text{reboco}} = \rho_{\text{argamassa}} = 2.000 \text{ kg/m}^3$  e  $c_{\text{reboco}} = c_{\text{argamassa}} = 1,00 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ , tem-se:

$$C_{Ta} = 0,14 \times 1,00 \times 2000 = 280 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,01 \times 0,32 = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$C_{Tb} = \sum_{i=1}^3 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}}$$

$$C_{Tb} = 0,02 \times 1,00 \times 2000 + 0,10 \times 0,92 \times 1600 + 0,02 \times 1,00 \times 2000 = 227 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Seção C (reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco):

$$A_c = 0,04 \times 0,32 = 0,0128 \text{ m}^2$$

$$C_{Tc} = \sum_{i=1}^7 e_i \cdot c_i \cdot \rho_i$$

$$C_{Tc} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{ar}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}}$$

$$C_{Tc} = 0,04 \times 1,00 \times 2000 + 0,04 \times 0,92 \times 1600 = 139 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Portanto, a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = \frac{A_a + 4 \cdot A_b + 3 \cdot A_c}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + 4 \cdot \frac{A_b}{C_{Tb}} + 3 \cdot \frac{A_c}{C_{Tc}}} = 160 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$