

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP**

**Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – PIPGE**

**(EP/FEA/IEE/IF)**

**A LEGISLAÇÃO ENERGÉTICA COMO FERRAMENTA DE  
REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS:  
OS IMPACTOS PARA A CIDADE DE SÃO PAULO**

**Ana Helena Guiguer Guglielmetti**

**São Paulo**

**2002**

ANA HELENA GUIGUER GUGLIELMETTI

A LEGISLAÇÃO ENERGÉTICA COMO FERRAMENTA DE  
REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS:  
OS IMPACTOS PARA A CIDADE DE SÃO PAULO.

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia (EP/FEA/IEE/IP) da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Energia.

**São Paulo**  
**Junho de 2002**

**ANA HELENA GUIGUER GUGLIELMETTI**

**A LEGISLAÇÃO ENERGÉTICA COMO FERRAMENTA DE  
REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS:  
OS IMPACTOS PARA A CIDADE DE SÃO PAULO**

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia (EP/FEA/IEE/IP) da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Energia.

Área de concentração:  
Eficiência Energética

Orientador:  
Prof. Dr. José Goldemberg  
Co-orientador:  
Prof. Dr. Marcelo de Andrade Roméro

São Paulo  
Junho de 2002

**ANA HELENA GUIGUER GUGLIELMETTI**

**A LEGISLAÇÃO ENERGÉTICA COMO FERRAMENTA DE  
REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS:  
OS IMPACTOS PARA A CIDADE DE SÃO PAULO**

Dissertação apresentada ao Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia (EP/FEA/IEE/IP) da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Energia.

Área de concentração:  
Eficiência Energética

Orientador:  
Prof. Dr. José Goldemberg  
Co-orientador:  
Prof. Dr. Marcelo de Andrade Roméro

São Paulo  
Junho de 2002

**Ficha Catalográfica**

**Guglielmetti, Ana Helena Guiguer**

**A LEGISLAÇÃO ENERGÉTICA COMO FERRAMENTA DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS: OS IMPACTOS PARA A CIDADE DE SÃO PAULO.**

Dissertação (Mestrado) – Apresentada ao Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia (EP / FEA / IEE / IF) da Universidade de São Paulo.

1. Legislação Energética
2. Redução do Consumo de Energia Elétrica.
3. Os impactos para a cidade de São Paulo.

Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia (EP / FEA / IEE / IF) da Universidade de São Paulo.

2002

À minha querida família pelo  
apoio e incentivo constante: Ruy,  
Rachel, Fernanda e Marcos.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo suporte financeiro, viabilizando o desenvolvimento da minha pesquisa.

Ao Professor Dr. José Goldemberg do IEEUSP, pela orientação e por todo apoio e confiança em mim depositado.

Ao Professor Dr. Marcelo de Andrade Roméro da FAUUSP, pela oportunidade de ingressar na pós-graduação da FAU em 1996, pela co-orientação, pelas diretrizes seguras que muito me ajudaram na elaboração desta dissertação e pela sua amizade.

Aos Professores Dr. Murilo Werneck Fagá e Dr. Ildo Luís Sauer do IEEUSP, pelo incentivo desde o meu ingresso no programa de mestrado em 1998.

Ao Marcos R. Gralliky Araújo pelo empenho e dedicação na busca de soluções em todas as etapas da dissertação.

A Fernanda Guiguer Guglielmetti pela digitalização das imagens e pela importante colaboração e incentivo.

Ao Sr. Edmundo Jorge de Araújo Filho pela tradução do Regulamento Energético Francês.

Ao Renato Guglielmetti Junior pelo suporte técnico na área de informática.

Aos Arquitetos Juliana Saft e Juliano Beraldo pelo fornecimento de dados e tabelas utilizados nos estudos de caso e pelas importantes informações que fazem parte deste trabalho.

A aluna da pós-graduação do PIPGE Telma Nagano de Moura pela amizade e apoio durante todas as etapas da minha pesquisa.

A aluna da pós-graduação da FAUUSP Lúcia F. S. Pirró Dilonardo pela colaboração nas opiniões e discussões a cerca dos estudos de caso.

Aos meus amigos do PIPGE pelas discussões e apontamentos que muito me ajudaram no amadurecimento da dissertação.

Aos funcionários da Secretaria da Pós-Graduação do IEE, em especial a Nazareth, ao Júlio, a Jisa e a Vilma.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

## ÍNDICE

---

Agradecimentos, iv

Índice, vi

Glossário, xiv

Definições, xx

Resumo, xxxi

Abstract, xxxii

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO, p.2

### 1.1. Histórico, p.2

1.1.1. Considerações Preliminares, p.2

1.1.2. Panorama Energético Brasileiro, p.5

1.1.3. Os Edifícios Comerciais, p.7

### 1.2. Motivação, p.9

### 1.3. Objetivos, p.9

### 1.4. Metodologia, p.12

1.4.1. Revisão Bibliográfica, p.12

1.4.2. Elaboração de Planilhas Eletrônicas, p. 13

## CAPÍTULO 2 - CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E CONSTRUTIVAS BRASILEIRAS, p.15

### 2.1. O Clima, p.15

### 2.2. O Usuário, p.16

### 2.3. A Edificação, p.16

### 2.4. A Energia, p.17

### 2.5. A Arquitetura, p.18

2.5.1. A Arquitetura Bio-Climática, p.18

2.5.2 O Projeto Energeticamente Consciente, p.20

2.5.3. Orientação e Energia em Função da Radiação Solar e da Latitude, p.24

2.5.4. Forma e Orientação, p.24

2.5.5. Conforto, p.25

2.5.6. Ventilação Natural e Consumo de Energia, *p.26*

2.5.7. Iluminação Natural, *p.29*

2.5.7.1. A Radiação Solar, *p.29*

2.5.7.2. Iluminação Natural e Artificial, *p.30*

2.5.7.3. O Sol como Fonte de Luz, *p.30*

2.5.7.4. O Entorno como Fonte de Luz, *p.31*

2.5.7.5. Exigências Relativas ao Coeficiente de Luz Diurna para Edifícios em Regiões Temperada e Tropical, *p.31*

2.5.7.6. Níveis de Aclareamento Recomendados, *p.32*

2.5.7.7. Controle da Luz Natural, *p.33*

2.5.7.8. Manutenção, *p.33*

## **CAPÍTULO 3 – O REGULAMENTO, *p.35***

**3.1. Considerações Preliminares, *p.35***

**3.2. Histórico, *p.35***

**3.3. Um Regimento para São Paulo, *p.41***

3.3.1. A Importância de um Regulamento Termo-Energético, *p.41*

3.3.2. Objetivos desta proposta, *p.42*

3.3.3. Proposta do NEEA, *p.43*

3.3.3.1. Abrangência do NEEA, *p.43*

3.3.3.2. Requisitos Mínimos, *p.43*

3.3.3.3. Verificação Automática, *p.44*

3.3.3.4. Verificação Global, *p.46*

3.3.3.5. Resultados Esperados, *p.47*

3.3.3.6. Metas de Trabalho, *p.47*

## **CAPÍTULO 4 – APLICAÇÃO DO REGULAMENTO, *p.49***

**4.1. Considerações Preliminares, *p.49***

**4.2. Estudo de Caso 1, *p.49***

4.2.1 Localização, *p.50*

- 4.2.2. Implantação, *p.51*
- 4.2.3. Tipologia do Edifício e do Andar Tipo, *p.52*
- 4.2.4. Sistema Construtivo, *p.53*
- 4.2.5. Aplicação do Regulamento, Ed. Abril, *p.55*

**4.3. Estudo de Caso 2, p.62**

- 4.3.1. Localização, *p.62*
- 4.3.2. Implantação, *p.63*
- 4.3.3. Tipologia do Edifício e do Andar Tipo, *p.63*
- 4.3.4. Sistema Construtivo, *p.64*
- 4.3.5. Aplicação do Regulamento, Ed. Listel, *p.66*

**4.4. Estudo de Caso 3, p. 72**

- 4.4.1. Localização, *p.72*
- 4.4.2. Implantação, *p.73*
- 4.4.3. Tipologia do Edifício e do Andar Tipo, *p.74*
- 4.4.4. Sistema Construtivo, *p.75*
- 4.4.5. Aplicação do Regulamento Nestlé, *p.76*

**CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES, p.83**

**5.1. Considerações Preliminares, p.83**

**5.2. Análise da Aplicação dos Regulamentos, p.83**

- 5.2.1. Estudo de Caso1 - Edifício Sede da Abril, *p.83*
- 5.2.2. Estudo de Caso2 – Edifício Sede da Listel, *p.84*
- 5.2.3. Estudo de Caso 3 – Edifício Sede da Nestlé, *p.84*

**5.3. Conclusões Finais, p.85**

**5.4. Recomendações, p.86**

**5.5. A Avaliação Crítica do Processo Metodológico, p.86**

**5.6. Perspectivas Futuras, p.87**

***LISTA DE FIGURAS***

**PRÉ-TEXTOS**

Figura 1.1 – Grandes zonas climáticas brasileiras, *p. xxiv*

Figura 1.2 – Mapa Mundi dos ventos, *p.xxvi*

Figura 1.3 – Ventos de verão, *p.xxvii*

Figura 1.4 – Ventos de inverno, *p.xxviii*

Figura 1.5 – Mapa Climatológico do Brasil - inverno, *p.xxix*

Figura 1.6 – Mapa Climatológico do Brasil – verão, *p.xxx*

## **CAPÍTULO 4**

Figura 4.1 – Fachada principal - caso 1, *p.49*

Figura 4.2 – Localização do edifício na malha urbana - estudo de caso 1, *p.50*

Figura 4.3 – Mapa do quarteirão e implantação do edifício Birmann 21, *p.51*

Figura 4.4 – Corte de edifício com indicação das áreas a cada pavimento, *p.52*

Figura 4.5 – Plantas de “layout” para os pavimentos de bateria alta, *p.54*

Figura 4.6 – Fachada Principal – caso 2, *p.62*

Figura 4.7 – Localização do edifício na malha urbana – estudo de caso 2, *p.63*

Figura 4.8 – Planta do pavimento tipo, *p.64*

Figura 4.9 – Tipologia de fachadas 2, 4 e 5, *p.65*

Figura 4.10 – Tipologia de fachadas 1 e 3, *p.65*

Figura 4.11 – Fachada principal - caso 3, *p.72*

Figura 4.12 – Localização do edifício na malha urbana, *p.73*

Figura 4.13 – Planta do pavimento tipo, *p.74*

Figura 4.14 – Tipologia fachada, *p.75*

## **LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS**

### **CAPÍTULO 3**

Tabela 3.1 - Classificação de classe de inércia térmica e fator solar de envidraçados, *p.44*

Tabela 3.2 - Classificação de coeficientes de transmissão térmica e estação de aquecimento, *p.45*

## ANEXOS

Tabela 1 – Classe de inércia / fator solar, **p.57**

Tabela 2 – Classe de transmissão térmica / estação de aquecimento, **p.58**

Tabela 3 – Classe de inércia térmica / ganhos solares, **p.62**

Tabela 4 – Classe térmica / fator de inércia , **p.63**

Tabela 5 – Classe de inércia, **pg.64**

Tabela 6 – Tipos de laje, **p.65**

Tabela 7 – Materiais de construção, **p.65**

Tabela 8 – Paredes, **p.66**

Tabela 9 – Revestimentos, **p.67**

Tabela 10 – Tipo de cobertura, **p.68**

Tabela 11 – Materiais – K, **p.69**

Tabela 12 – **p.74**

Tabela 13 – **p.74**

Tabela 14 – **p.74**

Tabela 15 – **p.74**

Tabela 16 – **p.75**

Tabela 17 – **p.75**

Tabela 18 – **p.76**

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>AEE</b>	Agência para Aplicação de Energia
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas técnicas
<b>ACE3</b>	American Council for an Energy Efficient Economy
<b>AIE</b>	Agence Internationale de L'Energie e Agência Internacional de Energia
<b>ANEEL</b>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<b>ANTAC</b>	Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
<b>ASHRAE</b>	American Society of Heating and Ventilation Engineers
<b>AP</b>	Área do Pavimento em m <sup>2</sup>
<b>APO</b>	Avaliação Pós-Ocupação

<b>APP</b>	Avaliação Pré-Projeto
<b>BEN</b>	Balanco Energético Nacional
<b>Bep</b>	Barril equivalente de petróleo
<b>CE</b>	Código de Edificações
<b>CEC</b>	Commission of the European Communities
<b>CEE</b>	Comunidade Econômica Européia
<b>CEPEL</b>	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
<b>CIB</b>	Consumo Interno Bruto
<b>CNPq</b>	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
<b>CPFL</b>	Companhia Paulista de Força e Luz
<b>CSTB</b>	Centre Scientifique et Technique du Batiment
<b>DOE</b>	Department of Energy
<b>DOE2</b>	Programa de Simulação Energética desenvolvido pelo DOE
<b>ECO</b>	Estratégias de Conservação de Energia
<b>ELETRABRÁS</b>	Eletricidade do Brasil
<b>ELETRPAULO</b>	Eletricidade de São Paulo
<b>EP</b>	Escola Politécnica
<b>EUA</b>	Estados Unidos da América
<b>FAUUSP</b>	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo
<b>FAPESP</b>	Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo
<b>Fc</b>	Fator de concentração de perdas
<b>FEA</b>	Faculdade de Economia e Administração
<b>Fp</b>	Fator de Potência
<b>GLD</b>	Gerenciamento pelo Lado da Demanda
<b>I</b>	Inércia Térmica
<b>IAG</b>	Instituto Astronômico e Geofísico
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IEE</b>	Instituto de Eletrotécnica e Energia
<b>IF</b>	Instituto de Física
<b>IPT</b>	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
<b>Ki</b>	Coefficiente de transmissão térmica superficial
<b>kw</b>	Quilowatt
<b>kWh</b>	Quilowatt hora

<b>MAE</b>	Mercado Atacadista de Energia
<b>Mi</b>	Massa superficial útil do elemento em Kg/m <sup>2</sup>
<b>MME</b>	Ministério das Minas e Energia
<b>Mtoe</b>	Mega tonelada equivalente de petróleo
<b>OCDE</b>	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
<b>OLADE</b>	Organização Latino Americana de Energia
<b>ONS</b>	Operador Nacional do Sistema
<b>Pd</b>	Pé-direito
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto
<b>PIPGE</b>	Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (EP/FEA/IEE/IF)
<b>PROCEL</b>	Programa Nacional de Conservação de Energia
<b>RCCTE</b>	Regulamento das Caract. De Comportamento Térmico das Edificações
<b>Si</b>	Área do elemento em m <sup>2</sup>
<b>SOM</b>	Skidmore, Owings & Merrill
<b>UE</b>	União Européia
<b>USP</b>	Universidade de São Paulo

**UNIDADES****EQUIVALÊNCIAS**

Iluminância (E): lux, lx	1 kW – 10 <sup>3</sup> W – kilo
Luminância (L): cd/m <sup>2</sup>	1 MW – 10 <sup>6</sup> W – mega
Fluxo luminoso (φ): lúmen, lm	1 GW – 10 <sup>9</sup> W – giga
Eficiência luminosa: lm/W	1 TW – 10 <sup>12</sup> W – terá
Intensidade luminosa (I): candela, cd	1 PW – 10 <sup>15</sup> W – peta
CCE – Custo de conservar energia = kWh/R\$	1 EW – 10 <sup>18</sup> W – exa
CEP – Custo de evitar a demanda de Pico = KW/R\$	1 Tep – uma tonelada equivalente petróleo = 107 kilocalorias = 41,868 GJ (giga joules)
Coefficiente global de transmissão Térmica (K): W/m <sup>2</sup> °C	Mtep – um milhão de toneladas Equivalentes de petróleo
Coefficiente de condutância térmica	1 MECU – um milhão de ECU

Superficial interna (hi): $W/m^2C$	1 TJ – 1 tera joule = 0,00002388 Mtep
Resistência térmica global (R); (1/k): $m^2C/W$	1 GWh – $0,086 \times 10^6$ Tep 1 kW – 3.413 Btu
Intensidade de radiação solar incidente (lg): $W/m^2$	1HP – 746 W 1 bbl de petróleo – 1,0015 Bep
Intensidade do fluxo de calor $W/m^2$	1 Bep – 0,13878 TEP – Toneladas Equivalentes de Petróleo
Calor específico (c): $Wh/kg^{\circ}C$	
Potência: Watt $m^2$ e	1 met – $58,15 W/m^2$ (homem – 1,8 Mulher – 1,62 $m^2$ ) 1 clo – $0,155 m^2C/W$

## GLOSSÁRIO

**AMPLITUDE TÉRMICA** <sup>1</sup> - Diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima em um intervalo de 1 dia ou 24 horas.

**AR CONDICIONADO** <sup>1</sup> - Expressão utilizada largamente no Brasil para designar sistemas de resfriamento ou condicionamento (Brasil) ou arrefecimento (Portugal).

**ARREFECIMENTO EVAPORATIVO** - O arrefecimento evaporativo pode ser direto ou indireto. É chamado direto quando o ar exterior é arrefecido por evaporação da água antes de entrar no edifício, provocando aumento da umidade do ar, e indireto, se a evaporação tiver lugar em um elemento do edifício, provocando uma diminuição da temperatura da superfície do referido elemento e do ar adjacentes sem que se verifique um aumento da umidade do ar interno.

**ARREFECIMENTO RADIATIVO** - As perdas de calor por radiação ocorrem durante os períodos diurno e noturno - tratando-se, portanto, de um processo contínuo. É, durante o período noturno, que os seus efeitos se fazem sentir, em virtude da ausência da radiação solar direta. A emissão de calor pela envolvente do edifício poderá ser utilizada como arrefecimento passivo.

**AVALIAÇÃO DINÂMICA** - Avaliação de modelos utilizando programas de simulação computacional.

**AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO (APO)**<sup>1</sup> - Do inglês, Post-Occupancy Evaluation (POE) - avaliação retrospectiva (no sentido de repensar o projeto após sua utilização) de ambientes construídos ou naturais. Adotada para diagnosticar e recomendar, segundo uma visão sistêmica e realimentadora, modificações e reformas no ambiente objeto da avaliação e para aprofundar o conhecimento sobre este ambiente, tendo-se em vista futuros projetos similares. É aplicada através de multi-métodos e técnicas e leva em conta o ponto de vista dos especialistas/avaliadores e dos usuários dos ambientes dos ambientes, leigos ou não.

**CONDICIONAMENTO AMBIENTAL** - Resfriamento ou arrefecimento do ar interior por meio de equipamentos termo-mecânicos.

**CONSERVAÇÃO DE ENERGIA** - Conservação de energia ou Energy Conservation, é a terminologia utilizada internacionalmente par designar o uso racional e eficiente da energia.

**CONSUMO**<sup>1</sup> - Quantidade de energia elétrica utilizada em um determinado intervalo de tempo. A unidade padrão no Sistema Internacional de consumo é o quilowatt-hora (kWh) e seus múltiplos.

**CONSUMO DESAGREGADO** - Consumo desagregado ou consumo desagregado por usos finais é a parcela do consumo total utilizada em um determinado uso final, como por exemplo, a iluminação artificial, equipamentos de escritórios, elevadores, etc.

**CONSUMO INTERNO BRUTO (CIB)**<sup>1</sup> - Quantidade de energia primária necessária a uma entidade geográfica para cobrir a procura interna de energia.

**DEMANDA**<sup>1</sup> - É a potência solicitada pelo consumidor, medida por um aparelho integrador durante qualquer intervalo de 15 minutos.

**ENERGIA PRIMÁRIA**<sup>1</sup> - Energia disponível, tal como se encontra na natureza e que ainda não sofreu nenhum tipo de transformação.

**ENVOLTÓRIA** - Envoltória ou envolvente são as superfícies exteriores verticais e horizontais dos edifícios.

**EQUIPAMENTOS ELETROMECAÂNICOS**<sup>1</sup> - Bombas, exaustores, aquecedores elétricos, escadas rolantes e elevadores.

**FONTE DE ENERGIA**<sup>1</sup> - Tudo aquilo que permite produzir diretamente energia útil, por transformação ou por conversão. Também são utilizados para definir fontes de energia, os seguintes verbetes: energia, formas de energia e agentes energéticos.

**FORMAS DE ENERGIA** <sup>1</sup> - As formas ou fontes de energia definidas pela Conferência Mundial de Energia, são as seguintes: Energia de combustíveis líquidos, Energia de combustíveis gasosos, Energia hidráulica, Energia de fissão nuclear, Energia elétrica, Energia solar, Energia de biomassa, Energia eólica, Energia dos oceanos e marés, Energia geotérmica.

**FONTES CONVENCIONAIS** - Verbetes utilizados no Brasil para designar as fontes de energia comumente utilizadas no país, tais como: Energia de combustíveis sólidos, Energia de combustíveis líquidos, energia de combustíveis gasosos, Energia hidráulica, Energia de fissão nuclear.

**FONTES ALTERNATIVAS** - Verbetes utilizados no Brasil para designar as fontes de energia não comumente utilizadas no país, tais como: Energia solar fotovoltaica, Energia solar térmica, Energia eólica, Energia dos oceanos ou marés, Energia geotérmica.

**FREE-FLOATING** - Regime flutuante de temperaturas internas, sujeitas a variações decorrentes das flutuações da temperatura externa.

**INÉRCIA TÉRMICA** – A inércia térmica de um edifício é a sua capacidade de contrariar as variações de temperatura de seu interior devido à sua capacidade de acumular calor nos seus elementos de construção. A velocidade de absorção e a quantidade de calor absorvido determinam a inércia térmica de um edifício.

**INTENSIDADE ENERGÉTICA** <sup>1</sup> - É a taxa de consumo energético para um dado indicador econômico, ou a razão entre o Consumo Interno Bruto - CIB e o Produto Interno Bruto - PIB.

**INVERSÃO TÉRMICA** - Fenômeno que ocorre no inverno, quando a chegada brusca de uma massa de ar quente sobre o ar mais frio da estação, acarreta uma espécie de colchão de ar, que retém os poluentes a baixa altura e impede que eles se dissipem.

**LEGISLAÇÃO ENERGÉTICA** - Ver regulamentos energéticos.

**MACROCLIMA** - Condições climáticas regionais como por exemplo o clima do estado de São Paulo ou o clima da região metropolitana de São Paulo.

**MESOCLIMA** - Características do macroclima alteradas por características geográficas, topográficas ou do uso do solo.

**MICROCLIMA** - Ainda no âmbito do mesoclima, é possível existirem condições climáticas mais específicas que passam a ser denominadas microclimas. Como por exemplo, o clima próximo a uma zona altamente adensada, a um corredor de edificações como é o caso das grandes avenidas, ou a uma área verde.

**MODULAÇÃO DINÂMICA** - Técnica que consiste no remanejamento temporário do horário de ponta, bem como na alteração de dias livres de fornecimento para consumidores de transmissão sob tarifa horosazonal, para adequar sua modulação à variação sazonal do horário de ocorrência de demanda máxima do sistema, tanto à nível regional como global. Objetiva, simultaneamente, reduzir o pico da curva de carga, preencher valores regionais e da curva total, e reduzir a rampa de tomada de carga no horário que antecede a ponta máxima.

**NORMA** - Texto aprovado por Comitê Representativo, junto a uma Associação de Normas Técnicas.

**OFERTA DE ENERGIA**<sup>1</sup> - Quantidade de energia primária e secundária disponível para satisfazer as necessidades energéticas de um país, tanto nos processos de transformação, como no consumo final.

**POTÊNCIA**<sup>1</sup> - É a potência nominal de entrada de um equipamento de utilização. Sua unidade é o W (Watt) ou o kW (kilo-Watt).

**POTÊNCIA INSTALADA**<sup>1</sup> - É a soma das potências de todos os equipamentos de utilização de um dado circuito ou da somatória de diversos circuitos.

**PRODUTO INTERNO BRUTO (PIB)** <sup>1</sup> - Produção final dentro da fronteira de um país de todos os bens e serviços produzidos pelos nacionais e pelos estrangeiros.

**PROPRIEDADES TERMO-FÍSICAS** - Propriedades específicas dos materiais, tais como: condutibilidade térmica, densidade, calor específico, coeficiente de absorção, emissividade.

**RADIAÇÃO** <sup>1</sup> - Energia sob forma de ondas ou partículas eletromagnéticas.

**REFLEXÃO** <sup>1</sup> - Retorno da radiação por uma superfície, sem modificação na frequência dos componentes monocromáticos (componentes com um determinado comprimento de onda) que constituem a radiação.

**REGIME DE UTILIZAÇÃO** <sup>1</sup> - Período no qual um ou mais equipamentos estão em funcionamento. O termo também se aplica ao período de utilização de um dado edifício por seus usuários.

**REGULAMENTOS ENERGÉTICOS** - Ou legislação energética são mecanismos legais em forma de Decretos-Lei voltados à eficiência energética nos edifícios.

**RENDIMENTO** <sup>2</sup> - Em sistemas capazes de fornecer trabalho, o rendimento é a razão entre o trabalho fornecido pelo sistema e a energia fornecida a ele. Termo muito utilizado em sistemas de iluminação artificial na relação lm/Watt.

**RETROFIT** <sup>1</sup> - Palavra da língua inglesa significando readaptar ou readaptação. Termo muito utilizado no jargão energético para identificar medidas de reforma nas instalações de um edifício em uso.

**SET POINT** - Valor da temperatura de bulbo seco fornecido a um programa de simulação ou a um programa de automação predial, para que a mesma seja mantida pelos equipamentos de condicionamento ambiental.

**SIMULAÇÕES TERMO ENERGÉTICAS**<sup>1</sup> - O termo simulação refere-se à análise computacional das condições termo-energéticas existentes no modelo e no edifício estudado.

**SIMULADORES ENERGÉTICOS** - Programas de simulação termo-energéticas.

**TECNOLOGIAS PASSIVAS**<sup>1</sup> - São elementos que constituem o edifício e podem contribuir para o seu desempenho térmico e lumínico, sem, entretanto consumir energia elétrica ou equivalente. Como exemplos de tecnologias passivas citam-se as envoltentes opacas os envidraçados, a ventilação natural a inércia térmica, o amortecimento térmico, entre outros.

**TECNOLOGIAS ATIVAS** - São sistemas complementares às tecnologias passivas que consomem energia para o seu funcionamento. Como exemplo cita-se a iluminação artificial, o resfriamento artificial do ar ou a ventilação artificial.

**WELFARE STATE** - Estado de bem estar, modelo político baseado no ideal do pleno emprego do capitalismo humanizado.

**WWR** - Do Ingles "window wall ratio". Este coeficiente mede a relação entre as áreas de envoltentes translúcidas e envoltentes opacas.

**USOS FINAIS**<sup>1</sup> - São os pontos de utilização onde a potência é dissipada.

**VARIAÇÕES PARAMÉTRICAS** - Entende-se por variações paramétricas, as alterações no caso base, de acordo com as decisões de modificações tomadas pela equipe de pesquisa, tendo em vista as possibilidades de melhorias existentes no edifício.

1. Terminologia extraída de: ROMÉRO, Marcelo de Andrade. Arquitetura, Comportamento e energia. São Paulo, FAUUSP, 1987. (Tese de livre-docência).
2. Terminologia extraída de: FERREIRA, Aurélio B.H. JEMM. Editores. Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa. Rio de Janeiro, Nova fronteira, 1988.

## **DEFINIÇÕES**

### **ENERGIA**

#### **ENERGIA OPERANTE (USO DA) <sup>3</sup>**

Energia usada para climatizar os locais (calefação, ar-condicionado, etc.). Pode representar uma drenagem constante de recursos difíceis de repor (como, por exemplo, o petróleo). Própria das economias de combustível barato e abundante.\*\*

#### **MODALIDADE CONSERVATIVA (DE MANEJO DO ENTORNO AMBIENTAL) <sup>3</sup>**

Explora a capacidade do envolvente maciço do edifício para absorver e armazenar calor, devolvendo-o prontamente ao entorno quanto à fonte de calor se tenha extinguido. Adequada para climas secos (frios e quentes), mediterrâneos e semidesértico\*\*.

#### **MODALIDADE SELETIVA (DE MANEJO DO ENTORNO AMBIENTAL) <sup>3</sup>**

Usa a estrutura não apenas para reter as condições ambientais desejáveis, mas também para admitir as condições do exterior que lhe são favoráveis (como por exemplo: o vidro admite a luz, mas não a chuva; o beiral admite a luz refletida, excluindo o sol direto; a veneziana ventila e dá privacidade,etc.). Adequada para clima quente –úmido\*\*.

#### **SOLUÇÃO ESTRUTURAL (PARA CONTROLE AMBIENTAL) <sup>3</sup>**

Usa os materiais para a construção de um elemento de proteção contra as características climáticas (como por exemplo: um quebra vento, um refúgio contra chuva ou sol etc.). Implica, geralmente, um investimento grande e único\*\*.

#### **SOLUÇÃO REGENERATIVA (PARA O CONTROLE AMBIENTAL) <sup>3</sup>**

Consome energia operante para climatizar os locais\*\*.

### **BEM-ESTAR (NO CONTEXTO DE DESENHO CLIMÁTICO) <sup>3</sup>**

Condições em que uma pessoa pode desempenhar tarefas eficientemente e dormir satisfatoriamente, de modo que o corpo possa recuperar-se da fadiga ocasionada pelas atividades do dia precedente\*.

### **CLIMA COMPOSTO <sup>3</sup>**

Clima com várias estações diferentes. Pode compreender uma estação seca e outra úmida, ou uma quente e outra temperada\*.

### **RIGOR TÉRMICO <sup>3</sup>**

Condições em que o corpo humano não pode eliminar o excesso de calor produzido pelo seu metabolismo ou não pode gerar calor suficiente para compensar o que perde ao transmiti-lo para os que o rodeiam. Em um e outro caso perturbam-se o ritmo fisiológico de atividades e o coeficiente de fadiga e de recuperação, ocasionando uma diminuição da eficiência no desempenho das tarefas físicas e mentais. No presente estudo partiu-se da hipótese de que existe rigor térmico quando a temperatura cai fora dos limites de bem estar. Usa-se a expressão rigor climático no mesmo sentido de rigor térmico\*.

---

\*\* Banhan, R. “La Arquitectura Del entorno bien climatizado”. Buenos Aires, Infinito, 1961.

### **INDICADORES <sup>3</sup>**

Signos convencionais que indicam as medidas que podem ser adotadas pelo projetista para resolver o rigor climático\*.

### **LIMITES DE BEM ESTAR <sup>3</sup>**

Limites das condições ambientais confortáveis. Esses limites são diferentes segundo se trata do dia ou da noite, do inverno ou do verão, ou de climas diversos. Para determiná-los, solicita-se a opinião dos interessados, mediante votação<sup>1</sup>.

## **ILUMINAÇÃO**

### **ILUMINAÇÃO NATURAL <sup>3</sup>**

É a iluminação produzida direta ou indiretamente pelo sol.

### **ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL <sup>3</sup>**

É a iluminação produzida direta ou indiretamente por incandescência ou luminescência.

### **CÉU CLARO <sup>3</sup>**

É a abóbada celeste coberta com nuvens em menos de 1/3 da sua capacidade total.

### **CÉU PARCIALMENTE NUBLADO <sup>3</sup>**

É a abóbada celeste que está coberta por nuvens em 1/3 a 2/3 da superfície total.

---

<sup>1</sup>ONU, El Clima y el diseño de las casas, Vol i. New York, 1973

### **CÉU NUBLADO<sup>3</sup>**

É a abóbada celeste coberta em mais de 2/3 de sua superfície total.

### **CÉU ENCOBERTO<sup>3</sup>**

É a abóbada celeste que está totalmente coberta por nuvens, e no qual o sol não é visível.

### **COMPONENTE CELESTE<sup>3</sup>**

É a relação entre a iluminação diurna num ponto interior do local, devida apenas à luz que provém diretamente da abóbada celeste, e a iluminação exterior simultânea sobre um plano horizontal iluminado pelo total da abóbada celeste característica do lugar.

### **COMPONENTE DE REFLEXÃO EXTERNA<sup>3</sup>**

É a relação entre a iluminação diurna num ponto interior do local, que recebe luz unicamente das superfícies externas por reflexão, e a iluminação exterior simultâneas sobre um plano horizontal iluminado pelo total da abóbada celeste característica do lugar.

### **COMPONENTES DE REFLEXÃO INTERNA<sup>3</sup>**

É a relação entre a iluminação diurna num ponto interior do local, que recebe luz unicamente por reflexão das superfícies interiores, e a iluminação exterior simultânea sobre um plano horizontal iluminado pelo total da abóbada celeste característica do lugar.

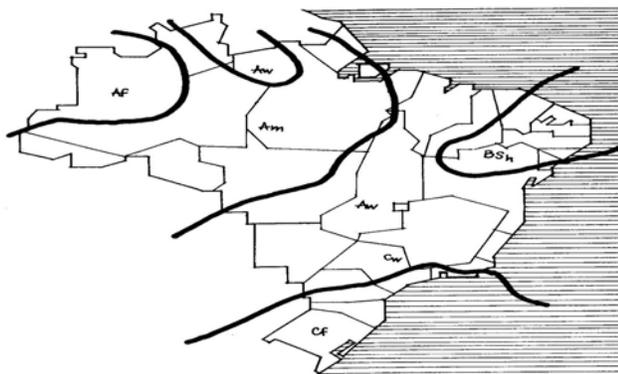
### COEFICIENTE DE LUZ DIURNA <sup>3</sup>

É a relação entre a iluminação total diurna num ponto interior do local, excluída a luz solar direta, e a iluminação exterior simultânea sobre um plano horizontal iluminado pelo total da abóbada celeste característica do lugar. É igual à soma da componente celeste, da componente de reflexão externa e da componente de reflexão interna.

### ZONAS CLIMÁTICAS DO BRASIL\*

O Brasil está situado entre os trópicos de Câncer e Capricórnio. Os diferentes climas desta área são:

- a. **úmido** - com regime de chuvas abundantes, sem estação seca, característica da região amazônica;
- b. **sub-úmido** - com regime de chuvas mais intenso no verão, característico da região sudeste ;
- c. **semi-árido** - uma transição entre os climas úmido e árido, característico das estepes do Nordeste brasileiro;
- d. **árido** - característico dos desertos, com escassez de chuvas;
- e. **montanhoso** – com temperaturas mais amenas e verão brando.



**Figura 1.1 – Grandes zonas climáticas brasileiras**

A figura 1.1 ilustra as principais zonas climáticas do Brasil. Vê-se pelo mapa a predominância dos climas tropical e equatorial.

O clima tropical úmido caracteriza-se por temperaturas médias superiores a 18°C, consideravelmente uniformes durante todo o ano, e por chuvas mais intensas na estação em que o sol está alto, e, seca quando o sol está baixo (Aw e Cw)

O clima equatorial-úmido distingue-se por temperaturas médias superiores a 22°C, com abundância de chuvas. O inverno é marcado pela intensidade de precipitações (Am e Af).

O clima semi-árido do Nordeste é uma disjunção transatlântica do deserto do Calaari. A massa de ar vinda da África alcança o litoral brasileiro a sotavento e progride sobre o oceano no feixe de ventos de ar límpido que divergem do flanco oriental do anticiclone. Esse clima semi-árido se caracteriza por ter fraca nebulosidade, forte insolação e as mais altas taxas de evaporação do território (BSh).

Na região sul há predominância do clima subtropical superúmido, sem estação seca (Cf) e inverno fresco.

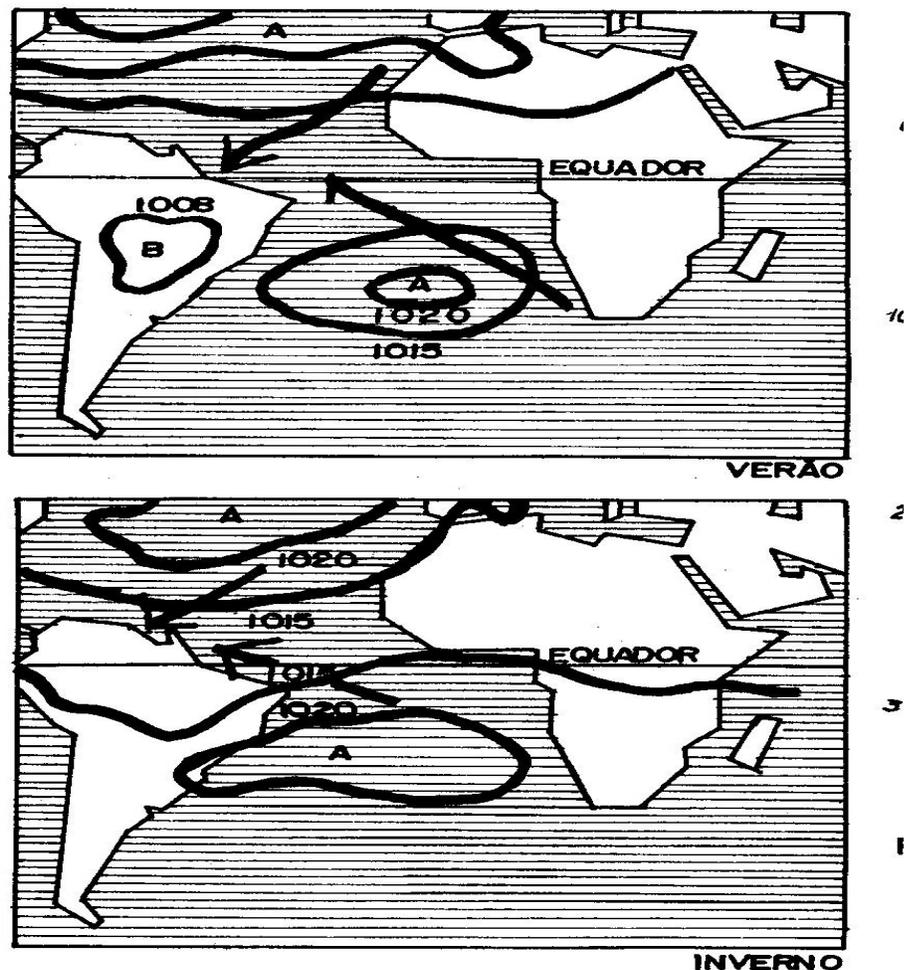
---

**\*Segundo Köppen**

## FATORES CLIMÁTICOS DINÂMICOS

### VENTOS<sup>3</sup>

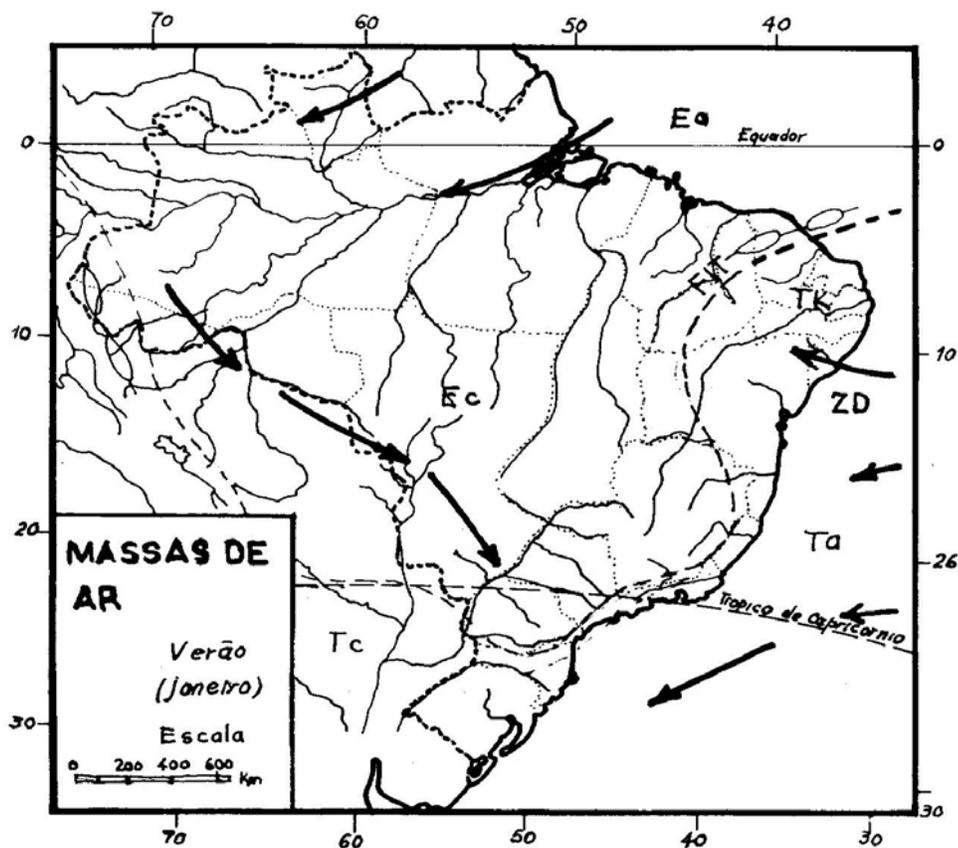
Do centro de altas pressões do Atlântico Norte, que tem sua sede nos Açores, divergem os alísios de NE, que tomam a direção E na altura do Equador. Os ventos desse redemoinho boreal atingem a costa setentrional brasileira durante o ano todo, mas a isóbara de 1015 mb mantém-se sempre ao largo (**Figura 1.2**). Os alísios boreais fazem percurso mais longo até o Brasil do que os austrais e, ao fim da viagem, resolvem-se em zonas de cal maria (doldrums) ou definem setores de descontinuidade.



**Figura 1.2 - Mapa-múndi dos ventos**

Os alísios boreais são aspirados para o interior quando no verão se estabelece o terceiro centro de ação que condiciona a circulação geral sobre o país: a depressão continental,

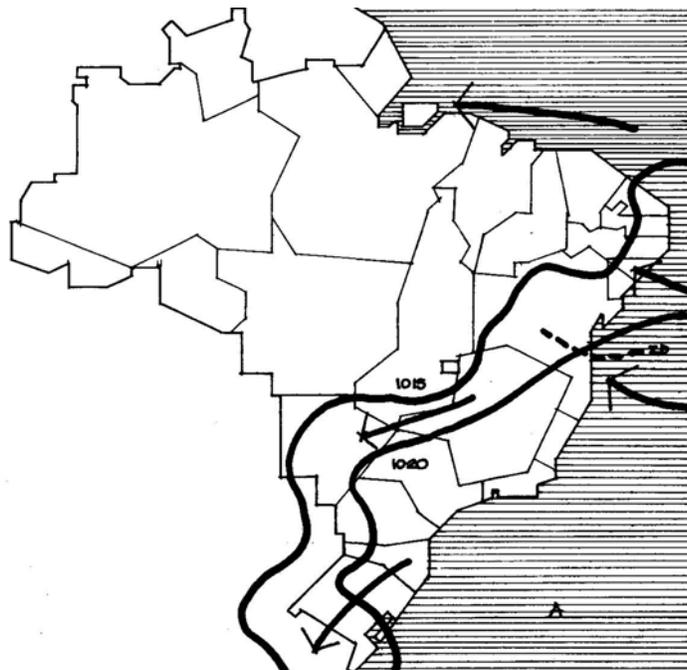
formada na altura do Chaco paraguaio tem esta função em consequência do superaquecimento do continente, da maior nitidez atmosférica nessa estação, e do contraste térmico entre aquele centro e o mar (**fig 1.3, verão**).



**Figura 1.3 – Ventos de verão**

No Brasil há incidência dos ventos SE-E e NE-NO no litoral.

No inverno, a região sul está no anticlone e os alísios austrais varrem todo o país, ao sul do vale do Amazonas (**figura 1.3, verão, e Figura 1.4, inverno**).



**Figura 1.4 - Ventos de inverno**

A costa oriental dos Estados meridionais está sob as correntes de perturbações da frente polar austral. No vale Amazônico há a influência dos doldrums (calmarias) da massa equatorial continental.

Com a isóbara central de 1008 mb e temperaturas de 26° e 30°C (janeiro), correria por conta desse centro de ação negativo a monção chuvosa de verão-outono que introduziria até o Paraguai os alísios boreais, sob forma duma longa dorsal de anticlone dos Açores.

Além da relativa penetração dos alísios de NE\_E na bacia, há uma corrente do NO aspirada desde a Hiléia do alto Amazonas pela depressão: a monção do Chaco (**Figura 1.3, verão**).

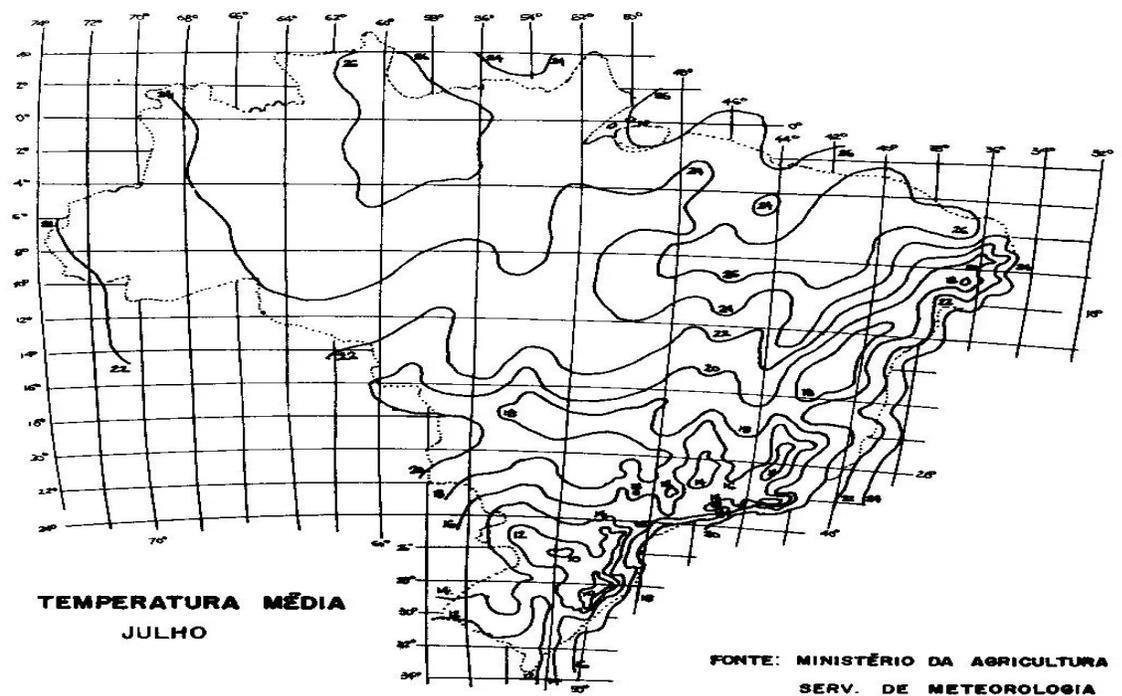
Em se tratando de dados mais particulares de direções de ventos para cada cidade, estes devem ser estudados localmente.

### TEMPERATURAS <sup>3</sup>

Pela radiação solar recebida em diferentes latitudes cria-se um efeito especial: as temperaturas máximas da superfície da terra não se registram no equador, como era de se esperar, mas nos trópicos.

Para isso contribui uma série de fatores. A migração aparente do sol no zênite é relativamente rápida durante a sua passagem pelo equador, mas sua velocidade diminui à medida que se aproxima dos trópicos.

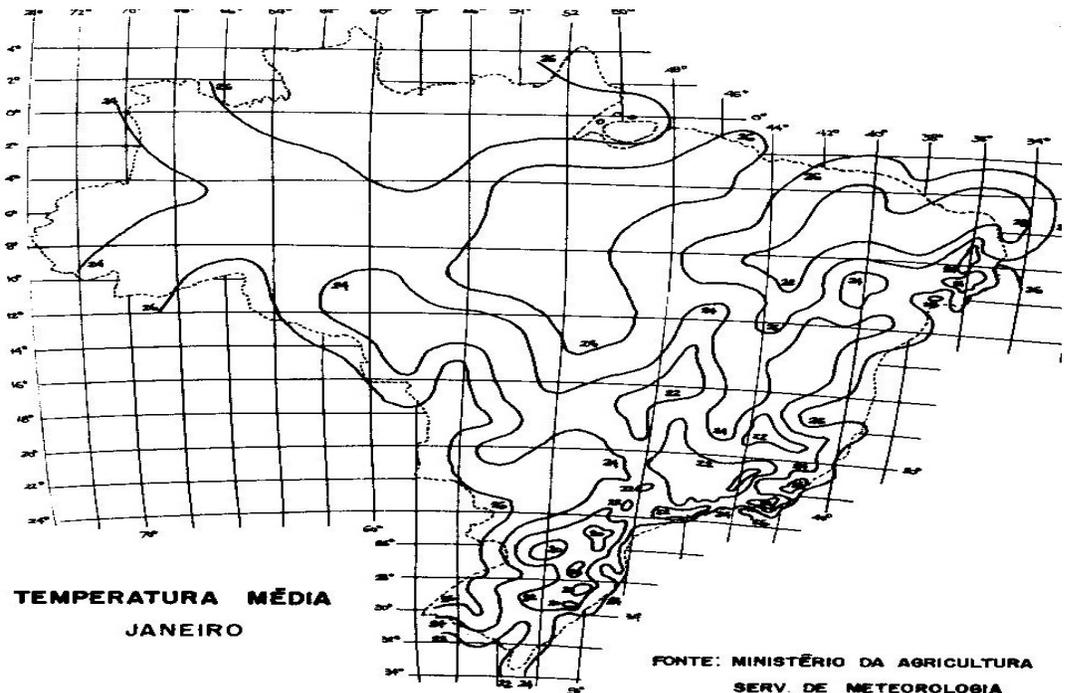
Entre o 6°N e 6°S os raios de sol permanecem quase verticais durante apenas 30 dias dos equinócios de primavera e outono, não havendo tempo pra armazenar calor na superfície e originar altas temperaturas.



**Figura 1.5 – Mapa climatológico do Brasil – Temperaturas de inverno**

**Fonte: Ministério da Agricultura**

**Serviço de Meteorologia**



**Figura 1.6 – Mapa climatológico do Brasil – Temperaturas de verão**

**Fonte: Ministério da Agricultura**

**Serviço de Meteorologia**

Ao contrário, entre os 17,5° e os 23,5° de latitude os raios de sol caem verticalmente durante 86 dias consecutivos no período do solstício. Este período de maior duração, bem como o fato de que nos trópicos os dias são maiores do que no equador, é a causa de que o máximo aquecimento se dá mais próximo dos trópicos.

No continente, os valores mais elevados se registram entre os 23°N e 10-15°S. Em consequência, o equador térmico médio anual (zona de máxima temperatura) está situado ao redor dos 5°N (**Figuras 1.5 e 1.6**).

---

3. Terminologia extraída de: MASCARÓ, Lúcia R. de. São Paulo, Projeto Editores Associados Ltda, 1991.

## **RESUMO**

O objetivo desta dissertação é avaliar o impacto da implantação de um regulamento energético a partir de estudos de caso na cidade de São Paulo, sempre considerando o conforto ambiental, a arquitetura e a conservação de energia.

Os regulamentos têm o objetivo de preencher lacunas através de um instrumento legal. Esse instrumento regulamenta as condições térmicas (aquecimento e arrefecimento) dos edifícios visando a redução do consumo de energia. Com o objetivo de recomendar ações que visem o uso racional da energia elétrica, aplicou-se neste trabalho a metodologia desenvolvida por um grupo da FAUUSP. São normas de eficiência energética na arquitetura que possibilitam a identificação de possíveis intervenções com sistemas passivos que diminuam a carga térmica no interior das edificações e ao mesmo tempo melhorem suas condições de conforto.

A introdução de um regulamento energético traz impacto a curto e longo prazo, dentre os quais pode ser destacado a redução do consumo de energia através do incentivo do uso de técnicas passivas, diminuindo assim o emprego de tecnologias ou sistemas de aquecimento ou arrefecimento bem como a melhoria da qualidade das edificações, com maior conforto para os usuários.

Com a aplicação do regulamento foram criados parâmetros para novos projetos assim como para projetos de retrofit, além de incentivar debates e pesquisas sobre tecnologias que visem a economia de energia e o conforto nas edificações.

A partir dos resultados obtidos com a aplicação do regulamento podemos ressaltar a importância de se projetar edifícios que otimizem o desempenho térmico e energético. A utilização de normas passa a ser uma importante ferramenta de redução do consumo evitando altos investimentos em produção, a degradação ambiental e gerando benefícios econômicos e sociais.

## **ABSTRACT**

The objective of this essay is to evaluate the energy bylaws implantation impact, using case studies in the city of São Paulo – always bearing in mind aspects of environmental comfort, architecture and energy conservation.

The energy bylaws aim to fill in gaps through a legal instrument. This instrument rules on buildings thermal conditions (Heating and Cooling Off), in order to reduce energy consumption.

A methodology developed by a FAUUSP team was applied in this work, aiming to recommend actions for the rational use of electric power.

It is through energy-efficiency norms in architecture that we can identify possible interventions using passive systems, which will diminish the thermal load inside buildings, and, at the same time, improve conditions of comfort and well being.

The introduction of energy bylaws brings with itself short and long term impacts, among which the reduction of energy consumption can be highlighted, by the incentive of passive techniques use - thus diminishing the use of systems or technologies for heating or cooling off, as well as assuring quality improvement in buildings, for the users greater comfort.

Together with bylaws application, parameters were created for new projects and retrofit projects; debates and research on new technologies were encouraged, in order to increase energy conservation and improve comfort in the buildings.

Looking at the results reaped by the bylaw application we can highlight the importance of projecting buildings to optimise energy and thermal performance.

The use of norms becomes an important tool to reduce consumption thus avoiding high investments in production, environmental degradation and, above all, creating social and economic benefits.

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

#### **1.1. Histórico**

##### **1.1.1. Considerações Preliminares**

O homem primitivo descobre a utilização do fogo, fonte de energia térmica insubstituível e tem início a era energética. Mais tarde passou a utilizar-se da água e das diversas possibilidades de uso desta para amenizar o calor.

As exigências de conforto e o crescimento da população e a industrialização foram responsáveis por novas técnicas de produção de energia que satisfizessem as novas necessidades. No final do século XIX, quando a atividade econômica do Brasil era significativamente agrícola a participação da eletricidade como fonte de energia era inexpressiva comparada com o consumo atual, mas chegava a ser quase quarenta vezes a energia despendida pelo homem primitivo.

O capitalismo apresenta uma ruptura radical com todos os sistemas energéticos que a humanidade tinha conhecido até então. Com ele cessa a primazia das energias biológicas e passam a ser utilizadas as energias fósseis. A industrialização foi responsável pelo considerável aumento na demanda de energia que continuou a crescer no século XX, especialmente no setor industrial. Os motores de combustão interna explica a crescente importância do petróleo na matriz energética dos países industrializados.

No fim do século XIX a energia elétrica começa a ser aproveitada no Brasil, atraindo investimentos estrangeiros e surgindo assim as primeiras usinas. Nos anos 30 e 40 as primeiras linhas de transmissão e distribuição foram inauguradas juntamente com as primeiras empresas estaduais de energia elétrica. Foi criada a ELETROBRÁS visando integrar ao patrimônio nacional as novas instalações de geração.

Os ideais de crescimento da indústria e do país levaram a um esforço nacional para a criação desta infra-estrutura, mas com a Segunda Guerra Mundial e o estreitamento do mercado, seguido pela inflação houve uma modificação no modelo existente que foi responsável pelo retorno do capital privado ao setor energético nacional. O novo modelo propunha que as empresas estatais e privadas fossem desverticalizadas para que não houvesse monopólios na transmissão e na distribuição pelos produtores de energia.

Segundo relatos dos Ministros do Planejamento e das Minas e Energia os motivos da privatização do setor elétrico foram os seguintes: A redução da dívida pública; a mudança do papel do Estado, concentrando suas ações e recursos em áreas prioritárias; o esgotamento da capacidade de financiamento do setor público; a necessidade de investimentos significativos na expansão do setor e a necessidade de elevação da eficiência no setor, através da maior competitividade entre as empresas.

Nesse período foi criada a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) para intermediar as relações entre as ações reguladoras estaduais e o Governo Federal, atendendo as particularidades de cada estado. Uma nova entidade o ONS (Operador Nacional do Sistema) é criada com o objetivo de calcular o preço marginal do sistema. As empresas que atuam no setor energético estão passando por uma fase de adaptação diante da nova postura que incentiva a competição com outras empresas e produtores independentes.

Nos últimos anos, o interesse pela eficiência energética tem crescido. A melhoria das condições ambientais locais e regionais, a redução do consumo de energia global do país e a desvinculação das curvas de crescimento do consumo global versus a curva do crescimento do PIB são apontados como fatores responsáveis por esse crescimento. Além desses podemos citar outros fatores tais como a redução de poluentes na atmosfera reduzindo os impactos sobre o efeito estufa, a promoção do desenvolvimento sustentado e da estabilidade econômica e a redução dos riscos globais e da dependência gerada pelo uso do petróleo.

O GLD (Gerenciamento pelo Lado da Demanda) vem sendo incentivado no Brasil devido à falta de recursos para investimento na geração de energia e as situações extremas de limite de capacidade em curto prazo.

Lúcia Pirró Dilonardo em sua dissertação de mestrado define o GLD como um conjunto de medidas direcionadas ao consumidor, com o objetivo de interagir com as quantidades e os períodos de uso da energia. O GLD é considerado como uma importante fonte de recursos, na medida em que as economias, ou simples postergações de investimentos em geração podem viabilizar o atendimento de um maior número de consumidores com a mesma quantidade de energia, poupando recursos naturais e colaborando com o desenvolvimento sustentável.

Os objetivos básicos do GLD são: eficiência energética, redução de cargas nos horários de pico e a substituição de fontes tradicionais por fontes alternativas na geração de energia.

Nos usos finais está a maior parcela do desperdício. Mesmo com os avanços tecnológicos que permitem um aumento da eficiência e a diminuição da energia consumida na prestação de serviços energéticos, os usos finais ainda representam níveis significativos de desperdício. Assim sendo, de nada adianta a busca da eficiência na geração e distribuição se encontrarmos desperdícios significativos nos usos finais.

A Iluminação eficiente mostra um grande potencial de conservação de energia elétrica no Brasil, com ênfase nos setores comercial e residencial. Os sistemas de ar condicionado também representam um potencial expressivo. Muitas vezes por serem operados de maneira ineficiente acarretam grandes desperdícios, especialmente os sistemas instalados nos grandes edifícios do setor comercial.

No Brasil muito pouco tem sido feito em relação a normatização e programas de incentivo para uso eficiente da energia. Com a dificuldade de encontrar outras alternativas para suprir a crescente demanda, pesquisadores e especialistas estão procurando meios para aumentar a quantidade de energia disponível para o consumo, através de novas tecnologias. Apesar de todos os esforços o crescimento do

---

fornecimento de energia está a quem do crescimento da demanda e a introdução de regulamentos funciona como uma forma de diminuir esta diferença.

### **1.1.2. Panorama Energético Brasileiro**

As estatísticas do AIE - Agência Internacional Energia apontam o Brasil como 3º país produtor mundial de hidroeletricidade, perdendo apenas para o Canadá e os Estados Unidos.(ROMÉRO, M.A. Tese de livre docência, FAUUSP 1997).

Em 1998, do volume total de energia elétrica produzida no país, 89% vem das usinas hidrelétricas, 9,1% de usinas termoeletricas e apenas 1,0% de usinas nucleares. (DILONARDO, L.F.S.P., Dissertação de mestrado, FAUUSP 2001).

As usinas hidrelétricas instaladas começaram a aumentar o seu número a partir de 1920. Com o crescimento da atividade e a necessidade de executar projetos de maior tamanho, iniciou-se um processo de fusões e incorporações entre empresas do setor. A hidroeletricidade desde esta época representava 80%da potência total instalada, de 779 MW. Devido às dimensões continentais do país e da grande quantidade de bacias hidrográficas a hidroeletricidade diferencia o Brasil dos outros países, onde predomina a termoeletricidade, com base no carvão mineral.

O Brasil ocupa hoje, no cenário mundial, uma posição bastante significativa em termos energéticos. Em países em desenvolvimento como o Brasil o crescimento do consumo de energia é constante entre 4 a 5 % ao ano. Mesmo nos períodos onde se verificou a estagnação econômica, o consumo não parou de crescer. Para atender a esse consumo, novas usinas geradoras, sistemas de transmissão e distribuição devem ser construídos. A expansão do sistema, com a construção de novas usinas e sistema de transmissão está associada a grandes investimentos, longos prazos para conclusão das obras e significativos impactos ambientais.

No período entre 1970 e 1998, o consumo de eletricidade cresceu 7,7 %ao ano e sua participação no consumo final de energia saltou de 16% em 1970 para 39% em 1998. Do total de energia consumida no país, 45% corresponde ao consumo industrial. Os

---

setores comerciais e residenciais vêm crescendo com taxas mais elevadas que o setor industrial. (DILONARDO, L.F.S.P., Dissertação de mestrado, FAUUSP 2001).

O crescimento do consumo de energia no Brasil acompanha as curvas de crescimento do PIB, que tem o crescimento previsto para a próxima década em torno de 4 a 5 %. Este crescimento é bastante notado em países em desenvolvimento, onde as necessidades de consumo da maioria da população ainda não foram atendidas assim como a eficiência nos usos finais.

O Brasil atingiu a faixa de segurança do setor elétrico por mais de uma vez, demonstrando uma situação nada favorável em termos de oferta e demanda de energia elétrica em seu mercado interno. Países desenvolvidos se preparam para financiar projetos de geração de energia elétrica, sendo a maior parte em países da América Latina, visando suprir a demanda brasileira. O cenário que se apresenta a curto e médio prazo, é o Brasil no papel de um mega consumidor energético e o restante da América do sul como mega fornecedores. Estima-se uma total de potência instalada que totaliza 10 TW o que representa 13% da potência instalada em geração de eletricidade do país e gerando uma despesa extra de US\$700 milhões ou cerca de 1/4 do superávit comercial que o Brasil prevê para o ano 2000. (ROMÉRO, M.A. e PHILLIP Jr., A. "A conservação de energia como Instrumento de Política e Gestão". In Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, 2000.).

O Brasil é um país onde a produção de energia é essencialmente hidrelétrica, mas com o esgotamento do potencial hídrico das regiões Sul e Sudeste e com a carência de financiamento para obras de construção de usinas hidrelétricas as usinas termoelétricas surgem como uma alternativa e de certa forma como uma necessidade imposta para o País. A implantação do gasoduto Brasil-Bolívia veio incentivar esses investimentos. Alguns pontos positivos podem ser salientados com essa integração energética como o uso mais eficiente dos recursos energéticos, uma relação mais justa entre as nações e a consolidação da integração regional entre os países do Mercosul mais a Bolívia e o Chile.

---

Como verificamos no texto acima o Brasil é um grande produtor e um grande consumidor de energia e a construção de novas usinas para suprir essa demanda podem causar impactos econômicos e ambientais, como alterações no clima, na fauna e flora local, poluição e migrações populacionais. Mais uma vez alertamos para a necessidade do uso racional de energia, já que o crescimento da oferta depende de largos investimentos. A diminuição do consumo através da introdução de políticas públicas com regulamentos e padrões de qualidade e desempenho e programas de conservação de energia podem ser tornar elementos fundamentais neste processo, permitindo que sejam reduzidos custos, melhorando as relações com o meio ambiente, preterindo investimentos e favorecendo o emprego de novas tecnologias.

### **1.1.3. Os Edifícios Comerciais**

Há algumas décadas, a arquitetura priorizava as condições climáticas e ambientais ao seu redor. As edificações conseguiam suavizar os excessos das condições ambientais exteriores. A iluminação utilizada era principalmente a luz natural e havia um controle das dimensões e posições das aberturas. O conforto térmico no verão era controlado por sombreamento, proteções e inércia térmica e no inverno, favoreciam os ganhos pelos envidraçados e por técnicas de isolamento térmico.

Atualmente nota-se uma desvinculação entre a arquitetura e o clima. Segundo a arquiteta Joana Carla S. Gonçalves da FAUUSP o projeto de arquitetura tem sido o principal responsável pela ineficiência no consumo de energia em edifícios, em especial em torres de escritórios. Com o desenvolvimento da estrutura metálica e do concreto de alto desempenho, acompanhados da iluminação artificial, do ar condicionado e dos elevadores, a arquitetura se viu livre da responsabilidade de responder ao contexto climático, deixando esta função inteiramente nas mãos da tecnologia.

Esta perda para o usuário final e para o país como gerador de energia para suprir estes edifícios é irreversível. Isto porque o potencial de conservação de energia elétrica em edificações existentes é bastante inferior ao potencial que pode ser conservado em

---

edifícios que ainda encontra-se na etapa de projeto. (ROMÉRO, M.A. "Legislação Energética em Edifícios: a Análise do Caso de Portugal". Sinopses, 1995.).

Ao analisarmos o Balanço Energético Nacional (BEN), o setor de edifícios é responsável por cerca de 24% do total do consumo de energia do país, excluindo-se o setor industrial. Destes 24%, o setor residencial é responsável por 64%, o comercial por 21% e o público por 15% do consumo.

O Estado de São Paulo é o maior consumidor de energia do país com 31,66% de todo o consumo brasileiro. Foram 97.122 Gwh em 2000, três vezes mais que o Rio de Janeiro, segundo Estado brasileiro em consumo com 32.277 Gwh. Em comparação com o ano anterior o consumo em São Paulo cresceu 4,7% em 2000, um pouco abaixo da taxa brasileira que foi de 5%. Por setor, no Estado, o consumo e a taxa de crescimento assim se distribuem: residencial, 27.535 GWh, 2,5%; comercial, 16.772 GWh, 10,8% industrial, 41.303 GWh, 5,4%; outros, 11.513 GWh, - 0,4%.

Do ponto de vista da atuação do arquiteto o setor de comércio é aquele que oferece as maiores possibilidades de intervenção visando à redução do consumo de energia. O consumo energético do setor é em sua maior parte devido ao condicionamento ambiental e a iluminação artificial e estas duas variáveis estão estreitamente ligadas à concepção arquitetônica.

Nos outros dois setores: residencial e industrial, as oportunidades de conservação de energia elétrica são bem mais reduzidas. Dentre os setores, o setor industrial é o que mais limita a atuação do arquiteto no sentido de economizar energia, pois a maior parte da energia consumida provém das máquinas e processos industriais e este tipo de consumo independe do projeto arquitetônico.

Com um maior conhecimento sobre eficiência energética na arquitetura, engenheiros e arquitetos poderiam, nas fases de projeto ou de especificação de materiais e equipamentos, possibilitar a redução de consumo de energia, evitando a necessidade de maior produção de eletricidade no país.

## **1.2. Motivação**

No Brasil houve falta de planejamento na oferta de energia elétrica por falta de investimentos no setor. Em face de escassez de recursos para a ampliação do parque gerador de energia elétrica e dos impactos sócio ambientais que esta ampliação pode provocar, o combate de desperdício deste tipo de energia torna-se uma necessidade. Há dificuldade em se encontrar meios alternativos de produção que possam suprir a crescente demanda com relação custo benefício satisfatório, surgindo assim à necessidade de se implantar normas e regulamentos que podem e devem atuar desde a produção até os produtos relacionados com o seu uso.

Nos países desenvolvidos, a crise de energia e o alto consumo no setor de edificações levaram à implementação de normas de eficiência energética em edificações. Atualmente o Brasil participa juntamente com Bangladesh, Botsuana, Índia e Nicarágua, entre outros, da lista de nações que não possuem normas de eficiência energética. Para que este quadro se reverta é importante o desenvolvimento das normas ligadas à edificação e aos equipamentos responsáveis pelo uso final da energia. Também são necessários o treinamento e a atualização periódica dos profissionais envolvidos com a edificação, para que possam cumprir essas normas.

Desta maneira, estudos e pesquisas são fundamentais para elaborar um regulamento e conhecer seus impactos. A partir do estudo de seus impactos é possível salientar a sua importância e sua área de atuação para que atinja seu principal objetivo: aplicação de medidas necessárias para a diminuição do consumo de energia, sem, contudo prejudicar níveis de conforto e qualidade das habitações.

## **1.3. Objetivos**

O objetivo desta dissertação é avaliar o impacto da implantação de um regulamento energético a partir de estudos de caso na cidade de São Paulo, sempre considerando o conforto ambiental, a arquitetura e a conservação de energia. Os modelos arquitetônicos que vêm sendo adotados na cidade de São Paulo, não utilizam as tecnologias disponíveis, capazes de diminuir o consumo de energia sem prejudicar o

conforto. Falta, para a grande maioria de projetistas e consumidores, não só o conhecimento técnico como também o esclarecimento para lidar com essas questões. Desta forma esta dissertação também pretende demonstrar que as edificações poderiam ser ainda melhoradas do ponto de vista do conforto, do consumo de energia elétrica, do nível de satisfação de seus usuários, se determinadas decisões tivessem sido tomadas nas etapas preliminares de projeto.

É errônea a idéia de associar o trabalho do arquiteto apenas à elaboração do projeto arquitetônico, passando aos outros profissionais a responsabilidade da execução dos projetos complementares e, posteriormente, do edifício. Os problemas precisam ser corretamente definidos - um processo que tem sido negligenciado. A matriz de respostas para diferentes, mas inter-relacionadas, questões de projeto podem ser coordenadas para, ao invés de produzir resultados superpostos, chegar a um resultado integrado. O ideal é que o arquiteto tenha o conhecimento básico de todos os conceitos relativos ao desempenho energético de edificações para tornar possível e eficiente a multidisciplinaridade seu projeto.

Os sistemas construtivos têm uma forte influência sobre as condições de conforto do ambiente interior. A especificação dos materiais exige o entendimento de suas propriedades e de sua adequação às características plásticas do projeto. O uso de isolamento térmico ou proteção solar em paredes, janelas e telhados, o tipo de telha e o tipo de vidro empregado nas janelas devem ser estudados a fim de se evitar ganhos térmicos excessivos e obter melhorias nas condições de conforto no interior. Esta tarefa deve ser balanceada entre engenheiros civis e arquitetos, devendo estes conceitos estar presentes desde as etapas iniciais do projeto arquitetônico.

Um melhor aproveitamento do clima pode ser obtido pelo planejamento apropriado de detalhes da edificação. O paisagismo, a orientação e a escolha da tipologia arquitetônica são fundamentais na adequação do edifício ao clima. Algumas decisões do arquiteto quanto à localização de aberturas, por exemplo, podem melhorar a ventilação cruzada de um ambiente e o ganho de calor solar no inverno. Os dispositivos de sombreamento devem ser usados de maneira a evitar a penetração de radiação solar durante o verão e permitir a entrada de radiação aquecendo as salas nos períodos frios.

Além disso, a execução da obra deve ser de acordo com o projeto, garantindo bom desempenho da edificação. O engenheiro mecânico deve trabalhar em conjunto com o arquiteto, dimensionando corretamente o sistema de ar condicionado de um edifício considerando o projeto arquitetônico e os cuidados para redução das cargas térmicas, de forma a evitar desperdício de energia.

O engenheiro eletricitista, ao elaborar o projeto de iluminação, precisa considerar a luz natural e a sua integração com a artificial, bem como especificar luminárias, lâmpadas e reatores mais eficientes e sistemas de controle de iluminação como dimmers, e sensores de presença. Também é fundamental a distribuição correta dos pontos de luz, que podem ser direcionados para iluminação de tarefas, possibilitando maior eficiência visual nos ambientes de trabalho e, conseqüentemente menor consumo de energia.

A análise do consumo de energia de uma edificação é tão importante para o processo de projeto quanto qualquer das outras ferramentas usadas comumente pelos projetistas. Cabe ao arquiteto coordenar a interlocução dos vários profissionais com o objetivo de melhorar a eficiência energética de sua concepção arquitetônica.

Deve-se lembrar que a arquitetura se encontra hoje em um panorama que torna cada vez mais necessário o controle do consumo de energia. Isto, como já foi mencionado, induz a necessidade de conceber edificações com melhor eficiência energética. Para que esta realidade se torne possível, é urgente aos arquitetos a compreensão do conforto ambiental e, conseqüentemente, o conhecimento das inter-relações de três categorias distintas de variáveis: variáveis climáticas, variáveis humanas e variáveis arquitetônicas. A temperatura, o movimento do ar, a umidade relativa e a radiação solar são fatores climáticos que podem ser sabiamente explorados na arquitetura com intuito de garantir o conforto dos usuários e a conseqüente racionalização do uso de energia.

Os conceitos de conforto térmico e visual do homem são variáveis humanas e premissas para a eficiência energética na arquitetura. Elementos como a forma e a função arquitetônica, os tipos de fechamentos utilizados na construção e o uso de sistemas artificiais de iluminação e condicionamento são fatores importantes e decisivos com relação ao desempenho energético na arquitetura.

Os regulamentos têm o objetivo de preencher lacunas através de um instrumento legal. Esse instrumento regulamenta as condições térmicas (aquecimento e arrefecimento) dos edifícios visando a redução do consumo atual e potencial de energia.

Espera-se que a introdução de um regulamento energético para a cidade de São Paulo trará impacto a curto e longo prazo, dentre os quais pode ser destacado:

- Redução do consumo de energia através do incentivo do uso de técnicas passivas, diminuindo assim o emprego de tecnologias ou sistemas de aquecimento ou arrefecimento.
- Melhoria da qualidade das edificações, com maior conforto para os usuários.
- Criação de parâmetros para novos projetos assim como para projetos de retrofit.
- Incentiva debates e pesquisas sobre tecnologias que visem a economia de energia e o conforto nas edificações.

#### **1.4. Metodologia**

A metodologia proposta para se atingir os objetivos do trabalho é a seguinte:

##### **1.4.1. Revisão Bibliográfica**

Revisão bibliográfica das metodologias utilizadas, das legislações específicas e de trabalhos relacionados ao tema.

A importância dos regulamentos energéticos foi ressaltada através de pesquisas das condições climáticas brasileiras demonstrando, que as edificações poderiam ser ainda melhoradas do ponto de vista do conforto, do consumo de energia elétrica, do nível de satisfação de seus usuários, se determinadas decisões tivessem sido tomadas nas etapas preliminares de projeto.

Para execução deste trabalho foi realizado um estudo do Eurocode e dos regulamentos europeus: Francês e Português. O Regulamento Português, o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico das Edificações) foi estudado com uma maior atenção, por ser o mais recente dos regulamentos europeus e por estar de acordo

com as normas do Eurocode, tornando-se um modelo para novos regulamentos energéticos.

Optei por avaliar o impacto na cidade de São Paulo, baseando-se em dois critérios:

- 1- O da representatividade, sendo esta cidade a maior concentração de edificações do País;
- 2- A necessidade de diminuir o escopo da pesquisa devido a grande diversidade climática de um país como o Brasil de grandes dimensões territoriais.

#### **1.4.2. Elaboração de Planilhas Eletrônicas**

Elaboração de planilhas eletrônicas com dados levantados em pesquisas de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais (Tese de Livre-Docência – Prof. Dr. Marcelo de Andrade Romero – 1997) utilizando a metodologia apresentada em estudo de viabilidade de um regulamento energético para o Estado de São Paulo desenvolvido por equipe da FAUUSP.

A dissertação analisou o trabalho de graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (Fau-Usp - 2º semestre de 2001) orientado pelo Prof. Dr. Marcelo Romero e desenvolvido pelos alunos: Fabio Abreu, Juliana Saft e Juliano Beraldo. Este trabalho de graduação tem como objetivo criar uma proposta de um regulamento que visa a redução do consumo de energia a partir de pesquisa de dados climatológicos adquiridos no Laboratório de Climatologia do Instituto de Geografia da USP, e de dados de temperatura, umidade e pressão, conseguidos na estação Meteorológica do IAG da USP. Cruzando esses dados foram definidos parâmetros a serem aplicados no regulamento. A partir de então foram realizados os cálculos dos índices de referência apresentados no projeto.

Dando prosseguimento as pesquisas foram analisadas dadas do Balanço Energético Nacional (BEN) refletindo o cenário existente sem regulamento. O resultado dessas análises trouxe subsídios para avaliar o impacto deste regulamento em São Paulo, o peso da arquitetura nos consumos e a projeção de um cenário.

## CAPÍTULO 2

### CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E CONSTRUTIVAS BRASILEIRAS

#### 2.1. O Clima

O estado essencialmente variável atmosférico considerado em determinado momento, levando-se em conta os fenômenos meteorológicos tais como: umidade do ar, vento, temperatura entre outros é denominado "Tempo".

O clima pode ser definido como o aspecto característico e permanente do tempo, num lugar, em meio a suas infinitas variações.

Os projetos e a construção de habitações humanas têm no CLIMA, um de seus fatores determinantes, visto que este é formado por fatores estáticos (posição geográfica e relevo) e fatores dinâmicos (temperatura, umidade, movimento do ar e radiação).

Com o panorama atual de crise no setor energético mundial e após um extenso período de uso intensivo de energia operante inserido em um contexto cultural consumista- esgotador baseado em um sistema produção-consumo falho e bastante questionável em termos de correta utilização energética, existe uma necessidade de se construir de acordo com o clima local, posição que até a pouco tempo era vista como ecológica, contestatória e idealista. Analisando-se a evolução do consumo em relação à disponibilidade de energia, esta consideração em termos arquitetônicos deixa de ser um estigma e torna-se uma necessidade.

A FORMA, a MATÉRIA e a ENERGIA, até os dias de hoje foram discutidas de forma separadas. Porém com a prática da arquitetura bioclimática, nos é permitido tratar conjuntamente de maneira a conciliar estas três variáveis. No entanto, a utilização de "instrumentos-síntese" , como por exemplo dados climáticos, é fundamental para que haja efetivamente esta conciliação.

De posse de novas técnicas e materiais disponíveis atualmente, torna-se possível elaborar novos modelos ou reelaborar os melhores modelos vigentes. Este trabalho objetiva a composição de soluções arquitetônicas que tragam benefícios em termos

energéticos a partir das condições climáticas inerentes ao local ao qual está designado o projeto e à necessidade e desejo do usuário.

## **2.2. O Usuário**

A pressão térmica e a denominação dada ao efeito resultante da ação conjunta dos quatro fatores dinâmicos do clima (temperatura, umidade, movimento do ar e radiação) sobre o indivíduo, fatores estes que lhe afetam a perda de calor, causando, no mínimo, sensação de desconforto, visto que há uma perda de calor em diferente ritmo de sua absorção.

A pressão térmica pode causar conseqüências sérias ao indivíduo (dor de cabeça, diminuição da atividade alimentícia devido ao suprimento insuficiente do sangue e até possíveis deficiências de sal devido às perdas através do suor, incômodo causado pelo calor e pelo suor da pele, esgotamento, etc.), decorrente dos efeitos que esta produz sobre seu organismo contribuindo para a ineficiência do mecanismo de regulação, visto que o homem é detentor de um sofisticado sistema que regula a temperatura mantendo-a estável, porém sensível a fatores externos tais como o acima descrito

Vários métodos de avaliação do desempenho térmico das pessoas, tais como a carta psicrométrica (serve como um guia, estimando os prováveis efeitos de diferentes condições ambientais), estão sendo desenvolvidos, visto que se torna necessário oferecer condições mínimas para que a temperatura do corpo se mantenha dentro de limites razoáveis. Para tanto, a qualquer sinal de interferência na execução das funções normais ou mesmo na manutenção da saúde, há a necessidade de se evitar circunstâncias prejudiciais aos processos de regulação térmica.

## **2.3. A Edificação**

Além dos quatro fatores dinâmicos do clima, outros relacionados a taxa de ganhos e perdas de calor da edificação podem ser citados:

- a diferença de temperatura entre o interior e o exterior da edificação, resultante do isolamento entre estas duas posições que por sua vez está vinculado às características

do material utilizado para este fim, agindo de forma a diminuir ou aumentar a radiação solar e térmica incidente sobre o edificado.

- posição geográfica (em relação ao sol e ventos), altura e forma da edificação características do entorno natural e construído (sítio);  
ação do vento sobre as superfícies interiores e fachadas e nos locais da edificação;
- Tipos de proteção e o desenho das aberturas de ventilação e iluminação
- Disposição e dimensionamento (com relação à potência) correto dos equipamentos de climatização e dos principais aparelhos eletrodomésticos dentro da edificação.
- Faz-se necessário compreender a importância da conservação das condições mínimas de habitabilidade e otimização do consumo de energia na edificação para só assim podermos pensar em termos do conjunto de fatores acima, como maneira de correspondermos aos nossos objetivos.

#### **2.4. A Energia**

Nos últimos decênios, a cultura urbano-arquitetônica não tem atendido aos componentes energético-climáticos. Entretanto a influência do clima na adaptação da tipologia edificativa e seus requisitos ficam claramente reconhecidos. Faz-se evidente as relações entre arquitetura e ambiente, e entre energia e habitat, o que mostra (independente da crise energética) como a morfologia das edificações e suas instalações são determinadas por tais relações. Não se deve reduzir o ambiente a um conjunto de fatores climáticos, pois outras dimensões, como: econômicas, urbanísticas e sociais também caracterizam sua estrutura. No entanto, deve-se haver um interesse especial no desenvolvimento de soluções arquitetônicas em uma relação correta com os fatores climáticos, empregando-se preferencialmente o uso passivo da energia através de técnicas construtivas ao invés do uso ativo da energia resultante de instalações na edificação.

O desperdício de energia, hoje, mais do que nunca, deve ser evitado pela arquitetura através do desenvolvimento de técnicas de composição para elaborar um projeto arquitetônico energeticamente compatível com a realidade nacional, logicamente, sem

aceitar restrições indevidas ou deduzindo-se diretamente a forma das novas edificações a partir de modelos abstratos ditos de grandes vantagens energéticas.

## **2.5. A Arquitetura**

### **2.5.1. A Arquitetura Bioclimática**

O termo "arquitetura bioclimática", no meio técnico e acadêmico, vem sendo nos últimos anos utilizado cada vez com mais frequência, pressupondo que pela necessidade de se caracterizar uma arquitetura como sendo "bioclimática", existe então uma arquitetura "não-bioclimática", o que contraria a proposta de estar adequada às condicionantes climáticas e geomorfológicas do sítio onde está inserida.

Arquitetura e clima são conceitos inseparáveis. Porém criou-se em tão larga escala uma arquitetura dissociada do clima que se fez necessário nomeá-la de bioclimática.

A arquitetura, analisada sob o aspecto de sua função mais básica e rudimentar, cumpre seu papel "primeiro", de abrigar, minimizando as condições climáticas exteriores. Desta forma podemos dizer que a arquitetura por si só é bioclimática .

Recentemente, com o objetivo de capacitar arquitetos, técnicos e especialistas em instrumentos, para o projeto bioclimático dos sistemas solares passivos, da refrigeração passiva e da iluminação natural, foi organizado na Escola Superior de Arquitetura da Universidade de Sevilha, o SAB - Seminário de Arquitetura Bioclimática.

Embora a iniciativa dos espanhóis seja louvável no sentido de que tenta de alguma forma chamar à atenção para algo que se perdeu, o mais correto seria que a necessidade de se considerar o clima e suas condicionantes fosse reincorporada no ensino do projeto de arquitetura e desta forma o seminário poderia chamar-se "Seminário de Arquitetura e Clima".

No âmbito internacional, foi lançado em 1994 na França, a obra intitulada "Architettura Climatique - Une Contribution au Développement Durable", abordando

os aspectos e as bases físicas da térmica em edifícios. Com relação a CEE - Comunidade Econômica Européia, seus consultores para assuntos relacionados à térmica de edifícios, estão mais corretamente posicionados referente aos seus conceitos, pois em sua mais recente publicação nesta área, intitulada "Energy Conscious Design".

"A Primer for Architects", não tratam de uma arquitetura bioclimática, mas sim de um projeto consciente do ponto de vista climático e energético, diferentemente dos franceses que em sua mais recente obra referentes a esse assunto, aqui já citada, não haveria necessidade de batizá-la de arquitetura climática, visto que se trata apenas de fenômenos físicos ligados à arquitetura.

A obra "Regional Guidelines for Buildings - Passive Energy Conserving Homes", publicada também em espanhol com o Título "La Casa Passiva - Clima e Desenvolvimento Energético", tratando a questão da forma como arquitetonicamente deve ser, a partir da consideração de que a utilização das técnicas passivas nada mais é do que diretrizes regionais e climática para edifícios, foi publicada pelo Departamento de Pesquisa do Instituto dos Arquitetos Americanos (AIA), por meio de uma solicitação do Governo dos EUA, a exemplo da CEE e da França.

Este equívoco conceitual de se criar uma segunda nomenclatura porque a primeira perdeu a sua especificidade, também é uma constância em nosso país. Encontra-se referência a uma arquitetura bioclimática em livros, teses e trabalhos de graduação, denotando claramente que o fenômeno é universal, tanto no meio profissional como acadêmico. Neste contexto, esta fase pretende também demonstrar que existe um potencial significativo de melhoria e elevação da qualidade da arquitetura mais recente produzida atualmente na cidade de São Paulo no grupo dos estabelecimentos bancários e de escritórios.

Atualmente, o arquiteto pode contar com o auxílio de poderosas ferramentas de simulação, dentre as quais podemos destacar o software ESP-r que ajuda a analisar o desempenho das tecnologias solares passivas existente nos estudos de caso, visando desta maneira minimizar os erros, para que a arquitetura esteja adequada ao clima

reduzindo-se a assim o consumo de energia através da inclusão de conceitos passivos e para que o usuário esteja cada vez mais integrado com o seu ambiente.

### **2.5.2. O Projeto Energeticamente Consciente**

Realizou-se nos anos 90 uma das maiores experiências na área de minimização do rigor climático, por meio de tecnologias passivas, com baixos recursos das tecnologias ativas: a Exposição Universal de Sevilha - Expo92, uma iniciativa recente de minimização do rigor climáticos em ambientes externos e ambientes internos. Exemplos de arquitetura energeticamente consciente estão espalhados por todos os cantos do mundo, todas as latitudes e altitudes e construídos nos mais variados períodos.

A Espanha é visitada durante seu período de verão (20 de abril a 12 de outubro) pela maior parte de seus cinco milhões de visitantes anuais, sendo escolhida, dentre todos os países da Europa e os Estados Unidos, como sede desta exposição.

Apesar de as condições climáticas em Sevilha, serem bem extremas no período de junho a setembro, com temperaturas médias de quase 40°C associadas a uma intensa radiação solar, impossibilitando-se a permanência ao ar livre no período diurno com céu claro, a baixa umidade relativa do ar (média anual de 40%) e as possibilidades de climatização passiva, escolheu-se Sevilha como o mais adequado local para a exposição. Porém, foram usadas algumas estratégias pela equipe de projeto, no intuito de minimizar as condições climáticas exteriores:

- 1) Controle da radiação solar - Através da utilização de grandes pergolados e de vegetação com níveis de densidade e altura no entorno do sítio escolhido para a exposição, conseguiu-se reduzir de 35°C e 40% de URA (Umidade Relativa do Ar) para 32°C com 60% de URA na Área com vegetação;
  
- 2) Evaporação da água por meio de ventilação em ambientes semifechados - Utilização de água corrente como chafarizes, cascatas artificiais e circulação de água por baixo de um piso pré-fabricado como forma de elevar a umidade relativa do ar e reduzir a temperatura do ar exterior que entraria. Conseguiu-se através destes métodos, reduzir

de 35°C com 40% de URA (Umidade Relativa do Ar) no exterior para 29° com 75% de URA na área semifechada;

3) Evaporação da água com ventilação em ambientes abertos - Reduziu-se à temperatura do ar e elevou-se a umidade relativa utilizando-se a micro pulverização da água sobre a vegetação para reduzir a temperatura local por evaporação, conseguindo-se uma redução na temperatura e uma elevação na umidade relativa, que variou de 35°C com 40% de URA antes do processo para 29°C com 75% de URA após o processo.

4) Sistemas Integrados - O resultado obtido por esta técnica que consiste em sistemas que forçam a circulação do ar por baixo do piso, reduzindo sua temperatura e posteriormente soprá-lo no ambiente, foi a redução da temperatura do ar em 7°C., ou seja, de 35°C para 28°C no local onde tal técnica foi aplicada.

Pode-se considerar um triunfo das tecnologias passivas conseguir uma redução média de 7°C na temperatura das áreas livres da EXPO92, levando em conta a opção por tecnologias passivas, as condições climáticas de Sevilha com 40% de URA, e que a área referida para aplicação das acima citadas estratégias é um lugar aberto.

Tem-se observado atualmente, que com maior intensidade vem ocorrendo a dissociação entre a arquitetura e o clima, união que, por cerca de 10.000 anos vem dando bons resultados e que nos nossos dias está indo a direção estranhamente contrária aos desenvolvimentos científicos em praticamente todas as áreas, e no Brasil, mostrou-se evidente após a metade deste século por exemplos que são mostrados do norte ao sul do país, de uma arquitetura alheia ao clima local.

Existe atualmente um desperdício enorme de energia, levando-se em conta que o baixo potencial de conservação de energia em edificações existentes é muito inferior ao potencial de energia que pode ser conservada em edifício que ainda estão nas etapas preliminares do projeto, resultando em uma perda irrecuperável tanto para o usuário como para o país como gerador de energia para sustentar estes edifícios.

A Arquitetura, através dos recursos passivos, como a ventilação natural, efeitos de sombreamento, da insolação, da evaporação da água, da variação de temperatura entre o dia e a noite, consegue agregar valor e beleza aos projetos como pode ser visto através de exemplos como edifícios com elevada inércia térmica para os climas com elevada amplitude térmica, casas leves e ventiladas da região norte do Brasil, habitações de madeira isoladas termicamente no hemisfério norte entre milhares de edificações em diversas partes do mundo.

A extração dos maiores benefícios possíveis do clima, dos princípios clássicos de transferência de calor, dos materiais de construção e das propriedades térmicas das envolventes exteriores é resultado direto do uso de tecnologias solares passivas, que permitem uma redução significativa das cargas externas sobre as cargas internas. No caso da arquitetura tropical brasileira, protetores solares exteriores que deveriam ser usados nos edifícios comerciais tendo papel fundamental como barreira anti-irradiação solar foram praticamente esquecidos nos últimos 20 anos.

Utilizar tecnologias solares passivas significa extrair os maiores benefícios possíveis do clima, dos materiais de construção, dos princípios clássicos de transferência de calor e das propriedades térmicas das envolventes exteriores. Tais benefícios, apesar de não cumprirem completamente as necessidades dos edifícios do setor comercial durante todo o período anual, podem reduzir significativamente a influência das cargas externas sobre as cargas internas. Neste aspecto, os protetores solares exteriores que têm um papel fundamental na arquitetura tropical, foram praticamente esquecidos nos edifícios do setor comercial no Brasil nos últimos 20 anos.

Alguns arquitetos, entretanto, optam por trabalhar com os extremos. Na cidade de Salvador, encontramos inúmeros exemplos de edifícios totalmente cobertos por protetores solares a ponto de o usuário não ter a menor possibilidade de ver a luz do dia. De fato, não se pode negar que houve ali, uma redução sensível na carga de radiação no interior dos ambientes, mas por outro lado, este pressuposto teórico não é suficientemente forte, para isolar o edifício da luz natural com sua composição espectral muitas vezes superior a da luz artificial, além do que, soluções como estas

encontradas em Salvador, podem causar prejuízos significativos no nível de satisfação dos usuários destes ambientes. Novamente aqui, em nome de uma arquitetura inovadora, esqueceram-se de princípios clássicos e tão amplamente comprovados.

O arquiteto contemporâneo possui uma vantagem a mais em relação a seus colegas do passado. Existem hoje disponíveis no mercado, programas que simulam o desempenho energético dos edifícios, com margens de erro bastante reduzidas e efetuando cálculos de iluminação e térmica passiva e ativa com grande rapidez e confiabilidade. Em nenhum outro momento da história da arquitetura o arquiteto teve a oportunidade de projetar e conceber edifícios com tanta qualidade do ponto de vista térmico, mas ironicamente, é como se nada disso existisse, e este é o nosso desafio no momento no Brasil.

Tanto nos EUA quanto nos Países Europeus nos quais os regulamentos energéticos foram implantados, notou-se um declínio na qualidade da arquitetura ou na redução das possibilidades de criação dos arquitetos. As normas implantadas não tinham o objetivo de fornecer receitas descritivas, mas sim de fornecer condições para que os arquitetos pudessem adequar o clima local aos materiais construtivos mais convenientes e às condições climáticas mais agressivas, optando, por exemplo, por isolar o edifício de modo a evitar as perdas.

Uma recente constatação deste fato foi verificada em Portugal. Este país implantou em 1990 o seu regulamento energético, considerando as diversas regiões climáticas do seu território no continente e de suas possessões no Atlântico Norte.

Até sua implantação que foi aprovada no Decreto Lei 40/90 de 06 de fevereiro de 1990, não existia no país nenhum tipo de regulamentação energética, quer para as áreas mais quentes ao sul, na região do Algarves, quer para as áreas frias ao Norte, na região da Serra da Estrela. Ocorre que o regulamento está adaptado ao clima e não se pode mais construir no Norte da mesma forma que se constrói no Sul. As primeiras análises comparativas entre as fases pré e pós-regulamento estão sendo feitas no momento em Portugal, e a expectativa é de que haja uma elevação do consumo de energia no setor

de edifícios, devido à falta de qualidade existente nas edificações, na fase pré-regulamento.

Desta forma a função dos regulamentos energéticos é não somente reduzir os consumos energéticos de um país, mas também elevar a qualidade das edificações e conseqüentemente o nível de satisfação de seus usuários.

### **2.5.3. Orientação e Energia em função da Radiação Solar e da Latitude**

A orientação quando usada adequadamente implica em menores consumos de energia, pois esta influi sensivelmente na quantidade de calor recebida por um edifício, sendo que um edifício mal orientado pode ter um aumento de quase 150% em sua carga térmica recebida.

A orientação em função da radiação solar perde importância à medida que diminui a latitude, pois ambas estão associadas, tornando-se, com relação às medidas de racionalização do uso da energia, um fator secundário.

Com relação à orientação em função dos ventos dominantes favoráveis, estes, se bem aproveitados, podem dispensar até mesmo a o uso da energia operante, trazendo conforto com meios naturais. Deve-se orientar o edifício favoravelmente em relação à carga térmica recebida no período quente, no caso de latitudes maiores.

### **2.5.4. Forma e Orientação**

Para minimizar-se a carga térmica recebida por um edifício e conseqüentemente o consumo de energia operante, sua forma deve ser escolhida em função da orientação disponível.

Tomando-se como exemplo um edifício de dez andares e 2.000 m<sup>2</sup> de superfície, este recebe uma carga térmica cada vez maior à medida que sua forma se torna mais compacta, sendo máxima quando a orientação das fachadas principais é L-O. Este

recebe menor carga térmica quando suas fachadas estão na orientação N-S e o edifício é alongado.

Conclui-se desta maneira, que, a forma de um edifício e a orientação influem na carga térmica recebida por ele.

### **2.5.5. Conforto**

O projeto, quando direcionado às especificidades do clima no qual está inserido garante conforto com economia de energia. A exclusão da radiação solar direta dos ambientes internos e a minimização da radiação solar direta e difusa das fachadas e cobertura do edifício devem servir como metodologia para este projeto.

Considerando por exemplo, algumas pessoas que ocupam um determinado edifício (sem adequada resistência térmica à passagem do calor, no período de verão, e suas paredes estando de 4 a 8°C mais quentes do que se tivessem as resistências necessárias), recebem a radiação proveniente das paredes, piso e forro e diante da sensação de calor, diminui-se a temperatura do ar-condicionado e aumenta-se o consumo de energia elétrica nesta situação.

Em um outro exemplo, no caso considerando-se a região sul no inverno, observamos o efeito contrário, ou seja: o corpo das pessoas que se encontram no interior de uma determinada edificação, perderá calor, por radiação, para as superfícies frias mal projetadas. O ar terá sua densidade aumentada e substituirá o ar quente, pois o ar adjacente às superfícies frias também se esfriará. Desta forma estas pessoas recorrerão ao ar-condicionado, como forma de aumentar a temperatura ambiente para manter o conforto térmico, implicando em uma elevação no consumo de energia.

O projeto do envolvente do edifício (paredes, coberturas e aberturas), quando adequado tanto para as condições de inverno quanto para as condições de verão, além de, se bem estudado e tecnicamente desenvolvido, desempenhar a função de isolamento acústico (janelas e portas de vedação perfeita impedem a passagem do ar e dos ruídos), também corresponde à solução para os problemas citados nos parágrafos anteriores.

### **2.5.6. Ventilação Natural e Consumo de Energia**

A ventilação é caracterizada pela substituição do ar de dentro pelo ar de fora de uma edificação, e é expressa como o número de renovações de ar em metros cúbicos por hora. Ocorre com a ajuda das correntes naturais de ar através de aberturas estrategicamente localizadas, em decorrência da necessidade de troca se faz presente principalmente em regiões de clima quente - úmido, onde a tensão do vapor (quantidade de água presente no ar) tenderá a ser maior dentro da edificação do que fora, devido ao suar, trabalhar, cozinhar, etc.

A velocidade de evaporação é diretamente proporcional à velocidade que o ar se move sobre a pele.

No caso de clima quente - úmido, vê-se necessário manter a baixa a tensão de vapor do ar do edifício através da ventilação e acelerar a velocidade com que o ar passa pela pele, visto que nestas condições de clima a evaporação é difícil. Algum tipo de circulador de ar ou aparelho de ar condicionado, pode ser preciso, caso não se consiga essa ventilação por meios naturais, implicando desta forma em consumo de energia.

A evaporação é fundamental para a manutenção o equilíbrio térmico do corpo humano através da troca de quantidade de calor com o meio externo ao seu organismo, visto que uma pessoa gera 100 a 200 Kcal/h, dependendo do tipo de atividade que realiza. Esta troca só poderá ocorrer, no caso de clima quente-úmido, pela transpiração e evaporação, que sua vez só é possível com o efeito que a ventilação produz, de convecção.

A boa ventilação obtida através de calculo e técnicas de projeto de ventilação natural dos edifícios objetiva, oferecer conforto ao usuário e reduzir a energia gasta em refrigeração, através da otimização de seu uso.

Para um projeto de ventilação, algumas informações sobre a direção, velocidade e frequência dos ventos, assim como sobre as possibilidades de vendavais e dias de calmaria são indispensáveis.

Enquanto os dados de temperatura e umidade relativa fornecidos pelas estações meteorológicas podem ser usados com suficiente exatidão, as velocidades dos ventos devem ser consideravelmente reduzidas, pois estas são tomadas na altura da cobertura dos edifícios, e devem ser transpostas para as condições do nível de visão, ou seja, aproximadamente 2 m acima da terra. De maneira geral, a variação dos ventos deve ser analisada mensalmente.

O estado do ar, sua umidade, temperatura e velocidade estão totalmente relacionados com a ventilação natural. As massas de ar, caso tenham a mesma temperatura e umidade quando colocadas em contato através de uma abertura tendem a se misturar lentamente. Caso tenham diferentes temperaturas, são geradas duas correntes: uma corrente de ar frio que tende a baixar e outra de ar quente que tende a subir no sentido oposto à anterior.

A diferença de pressão entre o interior e o exterior permite a ventilação através das fissuras e janelas, poros das paredes e coberturas ou pelo chamado efeito chaminé.

Em climas compostos por estação fria, mas com permanente e alta umidade relativa do ar e nos climas quente-úmidos, a ventilação necessita ser constante, pois:

- 1) Tem a função de retirar a umidade do corpo, facilitando a troca térmica entre o usuário e seu entorno através da convecção, no caso de climas quente-úmido e na estação quente dos climas compostos úmidos, dando conforto ao usuário do edifício. É chamada de ventilação de conforto.
- 2) Tem a função de renovar o ar local, sendo necessária nos climas quente -úmido e nos climas compostos úmidos por estação fria, durante o inverno. Deve ser produzida na parte superior do local (onde está o ar aquecido), longe do usuário para lhe evitar desconforto, é chamada de ventilação higiênica.
- 3) Durante o período quente dos climas úmidos, tem a função de resfriar as superfícies interiores do local (especialmente do forro) por convecção.

Dependendo das condições climáticas mais típicas de cada estação e região, dá-se a importância de cada uma destas funções acima. Os detalhes de projeto devem basear-se nos diferentes requisitos das diversas regiões durante as suas várias estações.

O número de pessoas e atividades que realizam, assim como o tipo de ocupação de um espaço, deve ser considerado.

O clima de uma determinada região que irá determinar a ventilação mínima e ótima bem como seus requisitos.

Em regiões em que a umidade absoluta e pressão de vapor são baixas, como no caso das regiões ou estações frias e secas nas quais as temperaturas externas são muito baixas e seus habitantes no intuito de evitar a diminuição das temperaturas internas, minimizam a entrada de ar exterior, a ventilação tem função de renovar o ar para que a umidade do corpo e os odores sejam eliminados.

Em regiões com inverno úmido, torna-se necessário providenciar a ventilação de exaustão, onde se produz o vapor d'água no caso de cozinhas e banheiros, por exemplo, visto que um dos maiores problemas é condensação. O vapor d'água deve ser removido antes de se dispersar, sendo que a pressão de vapor interna é reduzida só com a ventilação permanente. As tensões de vapor dentro da habitação, por exemplo, tenderão a ser maiores que as de fora pelo fato de suar, lavar, cozinhar, etc., a menos que se use algum método para se eliminar a umidade. Torna-se conveniente, para evitar que suba a pressão de vapor do interior, substituir o ar de dentro pelo de fora.

Aberturas convenientemente orientadas na direção dos ventos locais é uma das técnicas usadas para obtenção de ventilação pelas correntes naturais de ar: As bocas de entrada, na direção do vento dominante e as bocas de saída no lado oposto.

Fatores fixos tais como: a característica e a forma construtiva do edifício; a posição e forma dos edifícios e espaços abertos vizinhos; o tamanho a posição e tipos de aberturas; orientação e localização dos edifícios; e fatores variáveis como: Diferenças

de temperaturas interiores e exteriores; frequência, velocidade e direção do vento; são indispensáveis à ventilação natural.

### **2.5.7. Iluminação Natural**

Até poucos anos atrás, a luz natural foi um meio econômico de iluminar edifícios. No entanto, o desenvolvimento da iluminação artificial barata, como tubos fluorescentes, por exemplo, levantou dúvidas, por um momento sobre a necessidade real da iluminação natural. Por que não excluir o volúvel entorno natural e criar outro, feito (de funcionamento homogêneo) pelo homem, no qual a iluminação, a calefação, ventilação, etc. estejam permanentemente sob controle? Hoje, evidentemente tal posicionamento deve ser revisto devido aos problemas econômicos gerados pelos combustíveis, atualmente em voga. As recomendações de uso intensivo e permanente de iluminação artificial necessitam então de cuidadosos estudos, pois isso significa a utilização de energia operante. Assim, é imprescindível a retomada dos estudos para o desenvolvimento e divulgação das técnicas de iluminação natural, especialmente naqueles aspectos regionais do tema, investigando os dados que permitam sua aplicação diária entre nós, e buscando as evidências que justifiquem seu uso e indiquem as formas mais corretas de fazê-lo.

Agora, a iluminação natural é sinônima de poupança de energia.

#### **2.5.7.1. A Radiação Solar**

A terra recebe do sol, direta e indiretamente. O homem sabe que a radiação solar é necessária para a vida, percebendo até mesmo, a necessidade de uma dosagem desta radiação. Esta é uma das funções dos edifícios, agir como elemento regulador das radiações, uma vez que possui características protetoras (de preferência regulável) contra elas, ou porque seu equipamento lhe permite, com o emprego das fontes artificiais, complementares possíveis carências de radiação natural.

Das intensas radiações que se produzem, nos interessa aqui a luminosa, que é aquela capaz de estimular o sistema de visão, a qual é chamada de luz.

A radiação não produz apenas efeitos visuais sobre o indivíduo.

As distintas partes do espectro solar têm diferente ação sobre o organismo humano. Enquanto só uma parte, a faixa visível, pode ser detectada pelo olho (aproximadamente 50% da energia solar recebida na terra pode ser detectada pelo olho humano), todo o corpo é sensível ao calor, que chega também através da radiação infravermelha, que representa os outros 45% da energia solar.

#### **2.5.7.2. Iluminação Natural e Artificial**

A iluminação artificial é dimensionada para ser utilizada durante a noite, mas muitas vezes é usada durante o dia, gerando um enorme desperdício de energia. A janela deve ser projetada para transmitir luz diurna e para nos relacionarmos com o mundo exterior.

Precisamos conhecer estes dois sistemas e relacioná-los estreitamente, avaliando o seu desempenho conjunto na atividade diária.

Situações tais como enormes superfícies envidraçadas que permite ganhos de radiação solar torna-se inconveniente ao desempenho termo luminoso obrigando o uso permanente de cortinas, que amenizam, mas não resolvem o problema do calor excessivo, pois tiram a iluminação e ventilação natural dos locais, forçando o uso do condicionamento de ar e da iluminação artificial. As superfícies envidraçadas devem ser evitadas quando se deseja otimizar o uso da energia operante.

#### **2.5.7.3. O Sol como Fonte de Luz**

A iluminação produzida nas superfícies externas é importante fonte secundária de iluminação. Esta iluminação está influenciada pelo ângulo de altura solar, pelo ângulo de incidência da luz solar sobre a superfície considerada e pelas condições atmosféricas. Será necessário então conhecer os dados de altura e azimute solar para realizar o projeto luminotécnico.

#### **2.5.7.4. O Entorno como Fonte de Luz**

O entorno se comporta, geralmente, como fonte de luz. A luz refletida pelo terreno que rodeia o edifício em estudo, ou proveniente de outras superfícies estereores a ele, são dados importantes para o projeto de iluminação natural.

Como nas outras fontes de luz, é preciso que sua luminância seja controlada. A luz refletida pelo entorno em regiões ensolaradas representa, no mínimo, 10 a 15% do total de luz diurna recebida pelas janelas; estes valores são superados quando o entorno é claro (vegetação e cor superficial). Para locais cujas superfícies exteriores não estão expostas ao sol, a luz refletida pelo entorno chega a ser mais da metade da luz recebida pelas janelas localizadas em superfícies sombreadas.

#### **2.5.7.5. Exigências Relativas ao Coeficiente de Luz Diurna para Edifícios em Regiões Temperada e Tropical**

Como as exigências de iluminação natural diferem de acordo com a região em que está localizado o edifício, os métodos que são utilizados em países de climas frios, não são aplicáveis de forma direta, nas regiões temperadas ou tropicais, sendo-se necessário realizar modificações indispensáveis para sua correta aplicação.

Assim, por exemplo, nas regiões temperadas, no inverno e nas tropicais, durante todo o ano, as horas de trabalho podem concentrar-se entre o nascente e o poente do sol, enquanto nos países mais frios se trabalha com luz artificial nesse mesmo período. Esse acontecimento, unido ao fato de que a iluminação média exterior é muito mais alta durante o transcorrer do dia (uma vez que o sol está, em média, mais alto nas regiões tropicais do que nas frias, permite explicar porque os cálculos de iluminação natural devem ser efetuados considerando-se estas características que tornam as exigências de iluminação, mais severas, sobretudo se adicionarmos o preço da energia elétrica que, que nos países tropicais e temperados, apresenta-se muito mais elevado que na Europa, onde são ainda maiores que nos EUA.

Fica evidente, então, que as exigências para os níveis de iluminação não dependem tão somente dos aspectos técnicos, mas também do preço da energia elétrica que aparece

como um importante elemento a ser considerado, uma vez que na medida em que o nível de iluminação é mais elevado, as exigências na forma de coeficiente de luz diurna serão igualmente mais severas.

Um dos requisitos básicos de desenho (quando devido à necessidade de trabalho, os locais, por suas características dimensionais, por sua orientação ou situação geográfica, têm iluminação artificial complementar permanente) é garantir uma mesma quantidade e qualidade de iluminação para ambos os sistemas artificial e natural. Quando os níveis de iluminação são altos, torna-se difícil e custoso equilibrar a iluminação natural com a artificial. Devemos admitir que esse maior nível de iluminação artificial exigido, significará um incremento nos custos de uso, que nem sempre poderão ser assumidos, por causa dos consumos indevidos de energia operante.

Pode-se notar que adotando a recomendação internacional teremos um superdimensionamento das aberturas, equivalendo a quase o dobro, o que trará especialmente no verão problemas de ofuscamento e acréscimos térmicos indesejáveis. Para equilibrar valores da iluminação natural correspondente à maior parte do ano (outono e primavera) deve-se prever iluminação artificial complementar para os meses de inverno. Este critério é mais econômico e demonstra que muitas das recomendações internacionais têm validade somente para circunstâncias sócio-econômicas e climáticas determinadas.

#### **2.5.7.6. Níveis de Aclareamento Recomendados**

Um dos fatores que contribuem para a obtenção de uma visão adequada é o nível de aclareamento especificado para realizar a tarefa visual. Entretanto, a melhoria da visão, com o aumento do nível de aclareamento, não é ilimitada. Como indica Lamb (LAMB, W. Perception and lighting as form gives for architecture. New York, McGraw-Hill, 1977), as características do olho humano marcam limites no que diz respeito à acuidade visual, com qualquer iluminação, sendo 300 lux suficientes para quase se atingir esse limite teórico. O aumento dos níveis de aclareamento de 300 para 1.600 lux só amplia a acuidade visual entre 3 e 4%.

Sendo assim, se faz necessária uma revisão dos níveis de iluminação especificados nas normas e publicações técnicas em geral, pois sua adequação à realidade brasileira climático-econômica permitirá importante poupança gasta para iluminação.

#### **2.5.7.7. Controle da Luz Natural**

A iluminância excessiva que provém da luz solar direta, assim como outros aspectos climáticos (calor, chuva, etc), são motivos de desconforto. Tais efeitos podem ser controlados e/ou regulados por meio de elementos fixos ou móveis, exteriores e interiores às aberturas, chamados Fatores de Sombra.

Os elementos exteriores de controle mais freqüentemente usados são os brise (brise-soleil), as venezianas, os toldos, etc. São utilizados como defesa da luz solar direta no caso de brises para contribuir na iluminação interior, refletindo, pela sua posição, a luz do sol que é levada, então, para um ponto de incidência mais adequado (especialmente os brises horizontais).

Os elementos interiores de controle de luz devem ser de material translúcido ou de cores claras de alta difusão (cortinas, persianas, etc.) . Tendo presente que a luz que entra pela parte superior da janela é a que proporciona melhor iluminação, tanto do ponto de vista da uniformidade quanto da distribuição, mesmo nas zonas mais distantes das janelas, é conveniente colocar elementos acessórios que não afetem a qualidade da iluminação.

#### **2.5.7.8. Manutenção**

Um programa permanente de manutenção deve ser estabelecido para qualquer tipo de edifício, seja para vidros e superfícies interiores, seja para elementos de controle de luz. Janelas e elementos de controle sujos reduzem a admissão de luz; superfícies sujas e deterioradas absorvem a luz, levando a maiores consumos de energia operante.

## **CAPÍTULO 3**

### **O REGULAMENTO**

#### **3.1. Considerações Preliminares**

O regulamento energético para as edificações é um instrumento que regulamenta as condições térmicas (aquecimento e arrefecimento) dos edifícios visando redução do consumo atual e potencial de energia. O regulamento incentiva o uso de técnicas passivas, caracterizando as componentes térmicas relacionadas com os aspectos construtivos, diminuindo a solicitação de tecnologias ou sistemas ativos de aquecimento e arrefecimento. (ROMÉRO, M.A. Tese de livre docência, FAUUSP 1997).

#### **3.2. Histórico**

Os Estados Unidos são o principal país produtor e consumidor de energia no mundo. Programas de conservação de energia foram introduzidos e tornaram-se responsáveis por um significativo decréscimo da demanda de energia. O consumo das edificações do setor terciário passou de 140 kWh/m<sup>2</sup>mês, em 1974 para 30 kWh/m<sup>2</sup>mês no início dos anos 80.

Legislações específicas de cada estado regulamentam as características físicas da edificação e dos sistemas por elas utilizados de forma a garantir padrões mínimos de desempenho energético e consumo de energia, mas todas essas legislações devem ser baseadas em um modelo, o Model Energy Code. As próprias empresas prestadoras de serviço de eletricidade desenvolvem medidas junto aos consumidores que tem como objetivo reduzir as despesas com energia, diminuindo o consumo e evitando gastos com geração transmissão e distribuição de energia.

Na França o regulamento energético foi elaborado a princípio para fornecer parâmetros para as novas construções. O CSTB (Centre Specifique et Technique du Batiment) publicou de 1958 a 1973 seus trabalhos de pesquisa aplicada aos cálculos de aquecimento e arrefecimento das edificações residenciais. Na França como em outros

países industrializados 40 a 50% da energia primária é consumida pelo setor residencial e terciário (superior aos setores de indústria e transportes). A partir das pesquisas desenvolvidas nestes trabalhos foi introduzido o código das edificações, uma primeira tentativa para diminuição do consumo de energia.

Após a crise energética de 1974, o setor energético francês passou por diferentes mudanças que inspirou documentos de orientação financiados pelo Ministério de Equipamentos e Habitações e pela Agência Francesa para a Matriz Energética. O decreto de 10 de abril de 1974 regulamentou o isolamento térmico das edificações e a regulação das instalações através de um coeficiente que é igual a soma das perdas das envolventes exteriores mais as perdas devido as renovações de ar. Esta regulamentação fixava uma meta máxima de não ultrapassar os desperdícios térmicos para cada habitação, fixando um limite máximo. Essas medidas foram responsáveis por uma redução no consumo das construções de até 25%.

Em 1982, o nível de perdas térmicas fixadas anteriormente para as edificações passou a variar de acordo com o tipo de habitação e da zona climática ao qual estava inserida. Desta forma foram estabelecidas 7 tipologias diferentes e a França foi dividida em 3 zonas climáticas. Foram introduzidos também aos cálculos os ganhos de calor captados pelos vidros. Essas novas regulamentações conduziram a diminuição da superfície envidraçada cuja insolação é sempre superior àquela da parede opaca. É evidente que uma casa bem posicionada em relação ao sol pode gerar uma redução de energia. Desta forma a insolação aumentou nas edificações construídas consumindo 25% a menos em aquecimento.

Em 1989, membros do grupo de conservação de energia criado pelo ministério dos equipamentos e edificações juntamente com profissionais do ramo da construção civil através de um esforço comum foram responsáveis pela modificação do regulamento nesta data. O regulamento foi modificado quanto às modalidades de aplicação e quanto ao nível de abordagem dos princípios regulamentares. Esta nova mudança resultou em uma redução global dos consumos em 25% em relação à regulamentação anterior.

Atualmente podemos dizer que as edificações novas francesas a partir de 1989 consomem cerca de 40% menos, globalmente, que aquelas construídas em 1974 e ainda cerca de 3 vezes menos que aquelas construídas antes de 1974. A mesma tendência está sendo levantada para o setor não residencial com uma certa defasagem.

A aplicação do regulamento não implica em um aumento no custo das construções e é responsável por gerar uma economia de energia e propiciar ao mesmo tempo conforto ao usuário. Esse processo amplia o conhecimento relativo aos fenômenos térmicos de isolamento, ao conhecimento dos ganhos solares e seu armazenamento inercial e aos novos materiais ao aperfeiçoamento dos aparelhos de aquecimento.

Os regulamentos em geral em sua primeira versão tendem a ser mais gerais, e a partir de estudos são alterados e tendem a ficar cada vez mais específicos e restritivos.

Os países de clima frio sentiram mais intensamente a necessidade de regulamentação, até 1985, na Europa apenas a Bélgica, a Dinamarca, a França, a Alemanha, a Holanda e o Reino Unido possuíam um método oficial de avaliação termo energética. Com a crise mundial de energia os outros países que já desenvolviam estudos em relação a problemática energética passaram também a adotar os regulamentos como medida para redução do consumo energético.

Portugal foi um dos últimos países europeu a adotar um regulamento termo energético. O Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios - o RCCTE - foi promulgado em 16 de janeiro de 1990 e publicado em forma de decreto-lei em 6 de fevereiro do mesmo ano. Foi desenvolvido, após anos de estudo, por uma comissão executiva de representantes das universidades, associações de profissionais da área de engenharia, arquitetura, e construção civil, pelo conselho superior de obras públicas representando o poder público e por institutos de pesquisa. Constitui uma primeira base regulamentar e foi elaborado a partir de experiências adquiridas ao longo de um período de 15 anos em outros países que já possuem um regulamento voltado à conservação de energia e a utilização da energia bioclimática nos edifícios, considerando sempre as condições climáticas de cada país. (RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – Portugal).

Este regulamento tem como parâmetro básico a melhoria das condições de conforto térmico (aquecimento e arrefecimento) e conforto visual (iluminação), bem como a qualidade da construção em geral. Embora a parcela da energia consumida nos edifícios portugueses não atinja os valores de outros países, este regulamento passa a ser um instrumento de conservação de energia através da melhoria do conforto sem acréscimo do consumo de energia, ou da satisfação das condições de conforto com um consumo moderado de energia. A expectativa após a aplicação deste regulamento em Portugal, foi em um primeiro momento de uma elevação do consumo de energia, devido à falta de conforto térmico na maioria das habitações, principalmente nos locais onde as temperaturas são mais baixas, seguido por uma elevação mais moderada de consumo sempre considerando a questão conforto-consumo.

A importância deste regulamento está na abertura à possibilidade de fiscalização na fase de projeto. O RCCTE aplica-se a novos projetos de edifícios excluindo desta forma as edificações já existentes. As reformas que ultrapassam mais da metade da área edificada, também estão sujeitas a este regulamento. Como primeiro passo, a regulamentação determina algumas condicionantes construtivas, estipulando valores como padrão mínimo de qualidade térmica dos edifícios unindo o projeto arquitetônico aos componentes construtivos.

Para a elaboração do RCCTE foi necessário classificar climaticamente Portugal. O País foi dividido em três zonas climáticas de inverno ( $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ ) e três zonas climáticas de verão ( $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ ). O período de verão em Portugal abrange os meses de junho a setembro com temperaturas máximas chegando a 40 ° C. O inverno compreende os meses entre novembro e abril. Restando apenas como meia estação os meses de maio e outubro, que são desconsiderados devido ao curto período anual que representam. Fisicamente o país foi dividido em zonas climáticas.

A estrutura do regulamento é dividida em 5 partes:

- Verificação de requisitos mínimos;
- Verificação automática;
- Verificação global;

- Comparação com os consumos energéticos limites para as estações de inverno e de verão;
- Adaptação do edifício aos consumos energéticos limites para as estações de inverno e verão pelo método da verificação automática ou pelo método manual.

As análises finais do RCCTE consistem na comparação dos consumos energéticos máximos de referência para as estações de inverno e verão com os consumos energéticos obtidos no estudo em análise para as mesmas estações.

Sendo o RCCTE um regulamento não fechado, existe no momento uma comissão que está estudando possíveis modificações em um período de quatro anos após a sua implantação. A intenção dessa comissão não é de apenas corrigir os eventuais erros mais de tornar mais rígidos determinados parâmetros.

Nesse sentido, diversos pesquisadores e profissionais ligados a esta questão estão emitindo parecer sobre o regulamento, e a intenção da comissão que está estudando as complementações é considerar os elementos e as críticas pertinentes. De uma maneira geral as considerações que estão sendo apresentadas versam sobre a verificação das condições de conforto em determinadas situações que, para efeito de regulamento, são aprovadas, e que na realidade estão em situação de desconforto.

As principais críticas feitas ao RCCTE são as seguintes:

- (1) O processo de verificação automática não garante que um dado edifício que satisfaça suas condições esteja com condições de conforto interiores. Este desconforto em um edifício licenciado e aprovado pode ser proporcionado por vários fatores:
  - (a) O processo de verificação automática não faz exigências quanto à orientação e permite, portanto, que a área de envidraçados esteja orientada a Norte - que para o caso de Portugal é grave e o edifício seja, entretanto licenciado;

- (b) Para a situação de inverno, o regulamento exige que a área de envidraçados não seja superior a 15% da área do pavimento.
  - (c) Um edifício aprovado na verificação automática pode ter temperaturas de inverno e verão, bastante superiores àquelas indicadas como limite no próprio regulamento. Estas conclusões foram obtidas simulando estudos de casos em métodos dinâmicos.
- (2) No processo de verificação global, o regulamento não contempla a adoção de tecnologias solares passivas, como as estufas ou as paredes de armazenamento térmico.
  - (3) No cálculo das necessidades nominais de aquecimento, não são consideradas as perdas por condução através das paredes e pavimentos em contato com solo, e o valor do caudal de ar frio que penetra no edifício foi fixado em 1 volume/hora, quando algumas medições, realizadas em edifícios de habitações em Portugal, indicam valores reais médios inferiores.
  - (4) Com relação às necessidades nominais de aquecimento os ganhos só são contabilizados no quadrante Sul, pelo que, para as restantes orientações, e para cada área de envidraçado, aqueles parâmetros são iguais.
  - (5) Os valores das diferenças efetivas de temperatura utilizadas no cálculo das necessidades nominais de arrefecimento, apresentados no regulamento carecem de revisão, uma vez que foram adotados inicialmente os valores médios europeus que não correspondem à realidade dos países situados na orla mediterrânea.

De uma forma geral, o RCCTE é um regulamento abrangente, que se adapta a edifícios residenciais e que parametriza seus consumos energéticos anuais consoante um padrão de referência. A tendência dos regulamentos portugueses é tornarem-se cada vez mais restritos, adaptando as variáveis envolvidas, ao caso português. No futuro, é possível também que os regulamentos portugueses abordem grupos e subgrupos específicos, como é o caso do regulamento francês.

Ao analisarmos programas de conservação de energia não podemos deixar de citar o EUROCODE que foi elaborado a partir de métodos oficiais de avaliação termo energéticos existentes na Europa até 1985. Neste estudo foram analisados seis métodos aplicados para a conservação de energia. Mesmo considerando as diferenças climáticas e as tradições construtivas, existia um consenso nos cálculos referentes às perdas de calor pela envolvente, temperaturas internas e ganhos solares.

A partir da experiência destes países podemos salienta a aplicação do regulamento energético como uma ferramenta eficaz de redução do consumo de energia e na melhoria da qualidade das edificações.

### **3.3. Um Regimento para São Paulo**

O regimento utilizado nesta dissertação de mestrado foi desenvolvido por um grupo da FAUUSP composto pelo Prof. Dr. Marcelo de Andrade Roméro e pelos arquitetos Juliana Saft, Juliano Beraldo e Fabio Abreu.

#### **3.3.1. A importância de um regulamento termo-energético**

A crise energética pela qual está passando o Brasil não é um fato isolado, mas faz parte de um processo mundial de esgotamento do sistema de produção e consumo de energia. A primeira crise do petróleo, 1973, despertou o mundo para uma nova realidade e para a consciência de que as fontes energéticas tradicionais possuem um patamar de capacidade, potencial das bacias hídricas no caso de usinas hidrelétricas, de que são finitas, como é o caso do petróleo e do carvão, e que estão alcançando sua capacidade máxima. Além disso, alertou quanto à dificuldade de se encontrar meios alternativos de produção que possam suprir a crescente demanda.

A implementação das novas tecnologias não é suficiente para suprir o vertiginoso aumento do consumo. Isso porque os investimentos na produção energética ainda são muito onerosos e aqueles de baixo custo resultam em pequenos fornecimentos, demonstrando a importância de se desenvolver um projeto que abranja os vários setores envolvidos. A introdução de regulamentos energéticos funciona como uma forma de diminuir a diferença entre produção

e consumo de energia ao mesmo tempo em que leva a um aumento na qualidade do edifício.

Um regulamento energético é facilmente executável uma vez que atua ainda na fase de projeto e só depende de uma nova postura frente ao mesmo e da adoção de parâmetros pré-estabelecidos. As decisões dos arquitetos relativas à forma, durante o processo de concepção dos edifícios, têm uma grande influência no futuro comportamento térmico dos mesmos, particularmente as decisões tomadas nas fases iniciais da concepção. Através da orientação do edifício e das suas áreas envidraçadas, além dos efeitos das sombras sobre este, pode estruturar-se, desde o início, o padrão de consumo energético do futuro edifício.

Como solução técnica, a relação custo-benefício de um regulamento energético é excelente, pois a redução dos consumos devido à climatização é sensível como foi verificado nos países que o adotaram, sem que ocorra aumento dos custos de produção da energia. Um ocasional aumento do valor da construção, como também foi verificado nos países em que um regulamento energético foi implantado, não é significativo nem em valor absoluto e muito menos frente aos ganhos com relação à redução do consumo. Além disso, intervenções corretivas após a construção possuem custos bastante superiores àquelas realizadas ainda na fase de projeto, segundo o Instituto dos Arquitetos Americanos.

### **3.3.2. Objetivos desta proposta**

Os objetivos que se desejam alcançar com a criação de uma norma de eficiência energética em arquitetura estão relacionados à redução do consumo de energia.

Esta redução, nos edifícios já existentes, poderá ser obtida através da identificação de possíveis intervenções com sistemas passivos que diminuam a carga térmica no interior das edificações ao mesmo tempo em que melhoram suas condições de conforto.

Nos edifícios que ainda se encontram em fases preliminares de projeto, a normatização tem como finalidade incrementar o uso da iluminação natural, reduzir o uso de equipamentos de climatização e reduzir a carga térmica.

### **3.3.3. Proposta do NEEA (Normas de Eficiência Energética na Arquitetura)**

#### **3.3.3.1. Abrangência do NEEA**

Este regulamento se aplica aos novos edifícios independentes do fim a que se destinam e às reformas que excederem a metade da área edificada.

Seu objetivo é caracterizar as componentes térmicas relacionadas com os aspectos construtivos e, conseqüentemente, com as tecnologias passivas, não abrangendo nenhum sistema ativo de aquecimento ou arrefecimento.

O regulamento aplica-se a todas as zonas independentes de uma edificação, que são definidas como toda e qualquer parte do edifício que possua um marcador de consumo independente e cujo direito de propriedade possa ser transmitido autonomamente.

O regulamento exige que a zona avaliada obedeça a Requisitos Mínimos. Satisfeitos tais requisitos, o regulamento prevê duas formas de aprovação: Aprovação Automática e Verificação Global.

#### **3.3.3.2. Requisitos mínimos**

Para que um edifício ou zona independente possa ser verificado pelo regulamento é necessário que satisfaça certos requisitos mínimos próprios para as estações de aquecimento e arrefecimento, caso contrário, o projeto estará reprovado e deverá ser modificado para que possa continuar o processo de verificação.

A estação de aquecimento para o município de São Paulo compreende o período de 1º de abril a 31 de outubro e a estação de arrefecimento o período de 1º de novembro a 31 de março.

**a) Requisito Mínimo da estação de aquecimento:**

Para este período, o coeficiente de transmissão térmica (k) dos elementos exteriores opacos verticais deve ser inferior a  $1,80 \text{ W/m}^2\text{°C}$  e dos elementos exteriores opacos horizontais não deve exceder  $1,25 \text{ W/m}^2\text{°C}$ .

**b) Requisito Mínimo da estação de arrefecimento:**

O requisito mínimo para este período diz respeito às proteções solares dos envidraçados, a fim de evitar o sobreaquecimento no interior das edificações. O fator solar (Fs) dos vãos envidraçados não orientados a sul varia de acordo com a classe de inércia térmica das envolventes opacas da edificação e não devem exceder os valores máximos descritos na tabela abaixo:

Classe de inércia térmica	Fator solar dos vão envidraçados
Fraca	0,15
Média	0,56
Pesada	0,56

**Tabela 3.1 – Classificação de Classe de Inércia Térmica e Fator Solar de envidraçados.**

**3.3.3.3. Verificação automática**

Caso o projeto do edificio tenha atingido os índices satisfatórios referentes aos requisitos mínimos, este estará totalmente aprovado se também satisfizer os índices necessários para uma aprovação automática, não tendo que proceder, assim, nenhum cálculo posterior. Os índices mínimos para uma aprovação automática também se subdividem para atender as estações de aquecimento e de arrefecimento. Caso não atenda aos parâmetros da aprovação automática, se fará necessário o uso da verificação global.

**a) Requisitos para a estação de aquecimento:**

a') coeficiente de transmissão térmica (k) do edifício não deve ser superior ao coeficiente de transmissão térmica de referência, segundo a tabela abaixo:

**Tabela 3.2 – Classificação de Coeficientes de Transmissão Térmica e Estação de aquecimento**

Coef. de transmissão térmica	Estação de aquecimento
Kvertical	1,4
Khorizontal	1,1
Kenvidraçados	(I) 4,2
	(II) 5,8

(I) edifícios com ocupação noturna importante;

(II) restante dos casos;

a'') o fator de concentração de perdas térmicas (fc) deve ser igual ou inferior a 1,3:

1. Para materiais homogêneos  $fc = 1$ ;

2. Para materiais não homogêneos  $fc = \frac{\sum KiAi}{Kcr \sum Ai}$ ;

onde, fc = fator de concentração de perdas; Ki = Coeficiente de transmissão térmica de cada zona parcial homogênea em superfície em que se subdivide o elemento de construção; Ai = Área térmica de cada zona parcial homogênea em superfície em que se subdivide o elemento de construção; Kcr = Coeficiente de transmissão térmica em superfície corrente.

3. A área de envidraçados deve ser menor ou igual a 15% da área útil de pavimento e menor ou igual a 50% da área de fachada.

**b) Requisitos para a estação de arrefecimento:**

1) ter cobertura de cor clara. É entendida como cor clara toda cor cujo coeficiente de absorção da radiação solar for menor ou igual a 0,7.

2) ter inércia térmica média ou pesada.

3) ter fator solar para vãos envidraçados inferior a 0,15.

#### **3.3.3.4. Verificação global**

Estão sujeitos à verificação global todos os edifícios que atenderam aos requisitos mínimos, mas não aos requisitos da aprovação automática e aqueles cuja área útil por zona independente seja superior a 300 m<sup>2</sup>.

A verificação global subdivide-se em consumo de referência e consumo real, tanto para a estação de aquecimento quanto para a de arrefecimento. Para saber se um determinado edifício está regulamentar basta comparar o valor de referência com o valor real para cada estação. O valor real deve ser sempre inferior ao de referência, caso isto não ocorra, o projetista deverá modificar uma ou mais variáveis para que o edifício se enquadre nas normas.

##### **a) Cálculo do consumo energético máximo de referência para a estação de aquecimento:**

O valor da necessidade nominal de aquecimento em kWh/m<sup>2</sup>ano é função da somatória das áreas horizontais, verticais e envidraçadas multiplicadas pelo respectivo coeficiente de transmissão térmica. Este valor deve ser dividido pela área útil de pavimento e multiplicado por graus-dia.

Graus-dia de aquecimento é um número que caracteriza a severidade do clima local durante o período de aquecimento e seu valor é calculado pela somatória das diferenças positivas entre a temperatura registrada hora a hora e uma temperatura de base (18°C) e é expresso em °C/ano.

##### **b) Cálculo do consumo energético real para a estação de aquecimento:**

O algoritmo da necessidade nominal de aquecimento indica a energia útil a ser fornecida a um edifício, de forma a garantir no interior deste uma temperatura média mínima. Seu valor é função da soma das perdas pela envolvente (paredes, coberturas e envidraçados) com as perdas por ventilação e com os ganhos solares através dos envidraçados (valor negativo) e é expresso em kWh/m<sup>2</sup>ano.

##### **c) Cálculo do consumo energético máximo de referência para a estação de arrefecimento:**

A necessidade nominal de arrefecimento é função da somatória dos ganhos de calor através das áreas verticais, horizontais e envidraçadas, multiplicado pelo número de meses da estação de arrefecimento e dividido pela área útil de pavimento. O valor resultante é expresso em kWh/m<sup>2</sup>ano.

**d) Cálculo do consumo energético real para a estação de arrefecimento:**

O valor da necessidade nominal de arrefecimento indica a energia útil que deve ser fornecida a um edifício, de forma a garantir uma temperatura média máxima em seu interior. É calculado pela soma algébrica dos ganhos por condução através das envolventes (paredes e coberturas) com os ganhos solares através dos envidraçados e com os ganhos proporcionados pela renovação do ar interior. O ganho por condução é função da diferença de temperatura entre o exterior e o interior e da radiação incidente sobre as superfícies exteriores. A necessidade nominal de arrefecimento é expressa em kWh/m<sup>2</sup>ano.

**3.3.3.5 Resultados Esperados**

A introdução de um regulamento termo-energético trará impactos a curto e longo prazo, dentre os quais pode ser destacado:

- Redução no consumo de energia elétrica;
- Melhoria na qualidade das edificações, com maior conforto para funcionários e alunos;
- Criação de parâmetros para a avaliação dos projetos em concorrências;
- Abre possibilidade de novas discussões e pesquisas sobre tecnologias que visem a melhoria do conforto nas edificações.

**3.3.3.6. Metas de trabalho:**

Desenvolver o NEEA para aplicação em edifícios novos e naqueles que sofrerão aumento de área ou remanejamento interno. Para isso, contar-se-á com um grupo de professores e pesquisadores, que irão desenvolver os algoritmos, levando em conta as condições climáticas do Estado de São Paulo.

## **CAPÍTULO 4**

### **APLICAÇÃO DO REGULAMENTO**

#### **4.1 Considerações Preliminares**

Elaboração de planilhas eletrônicas com dados levantados em pesquisas de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais (Tese de Livre-docência – Prof. Dr. Marcelo de Andrade Romero – {1997} utilizando a metodologia apresentada em estudo de viabilidade de um regulamento energético para o Estado de São Paulo desenvolvido por equipe da FAUUSP).

#### **4.2 Estudo de caso 1**

##### **EDIFÍCIO BIRMANN 21 – EDIFÍCIO SEDE DA ABRIL**

Este projeto foi desenvolvido por um dos maiores e mais renomados escritórios de arquitetura e engenharia internacional de origem norte americana o SOM – Skidmore Owings & Merrills em parceria com o escritório paulista Kogan & Villar Associates e a construtora Turner e Birmann.



**Figura 4.1 – Fachada Principal – Caso 1**

#### 4.2.1. Localização

O edifício está localizado às margens do Rio Pinheiros, zona oeste de São Paulo no bairro de Pinheiros. O terreno é delimitado pela Av. das Nações Unidas e pelas ruas Sumidouro, Gilberto Sabino e Conselheiro Pereira Pinto. O acesso principal se dá pela Av. das Nações Unidas, e o secundário pela Rua Sumidouro. Os acessos de serviços se localizam nas ruas Gilberto Sabino e Conselheiro Pinto.

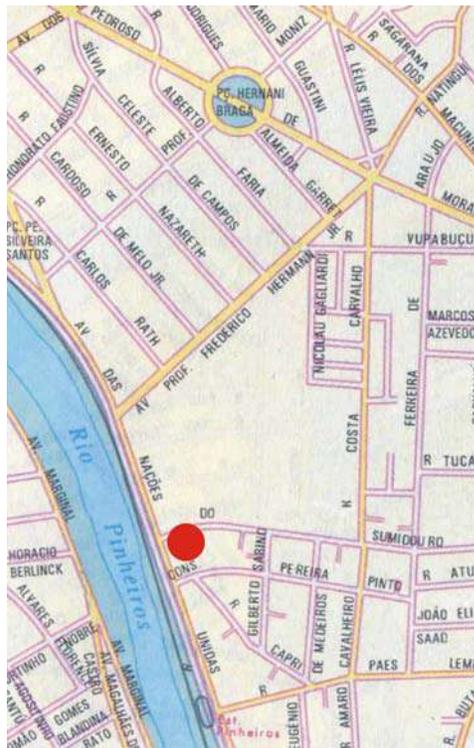


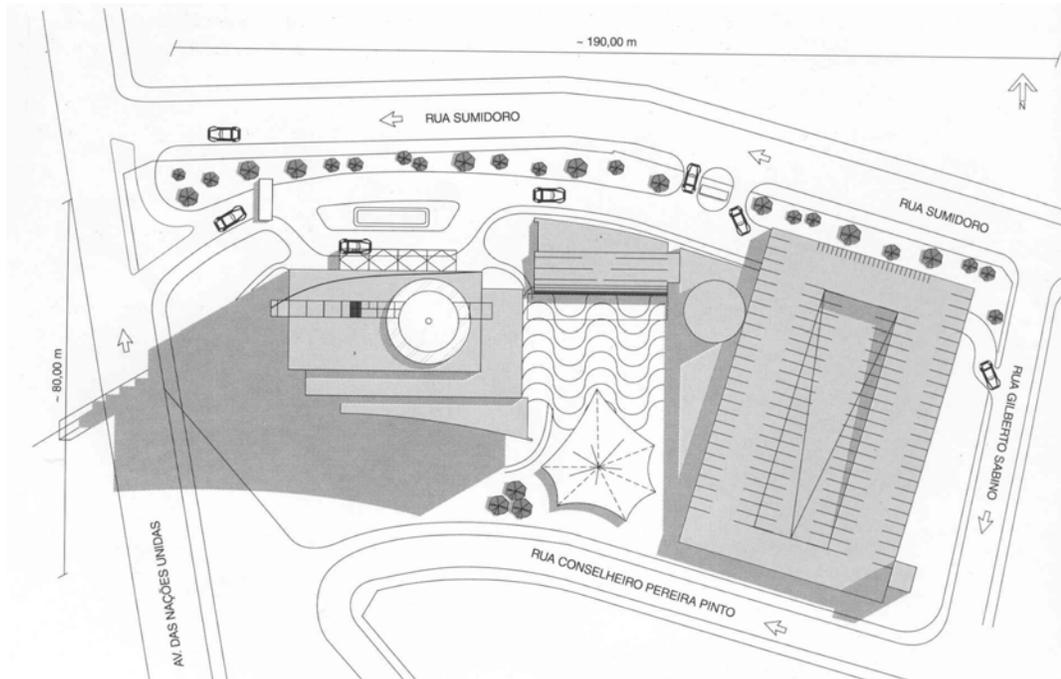
Figura 4.2 – Localização na malha urbana do estudo de caso 1

#### 4.2.2. Implantação

Ocupa uma área de 14.500 m<sup>2</sup> do bairro de Pinheiros. O seu entorno é naturalmente plano, sem barreiras naturais e predominantemente baixo. Dessa maneira, o edifício torna-se uma torre isolada, que do ponto de vista do conforto urbano pode sofrer turbulências de ar e desconforto térmico.

O complexo BIRMANN 21 possui aproximadamente 70 mil metros quadrados de área construída. O programa inclui a torre de escritórios, um edifício garagem com 1.200 vagas, um volume onde estão os elevadores e as escadas do estacionamento e um espaço coberto de 417 m<sup>2</sup> ocupados por uma cafeteria, uma academia de ginástica e salas de conferência.

O edifício principal está posicionado perpendicularmente ao eixo da Avenida Marginal do Rio Pinheiros. A entrada principal à torre se dá pelas fachadas: Noroeste e sudoeste

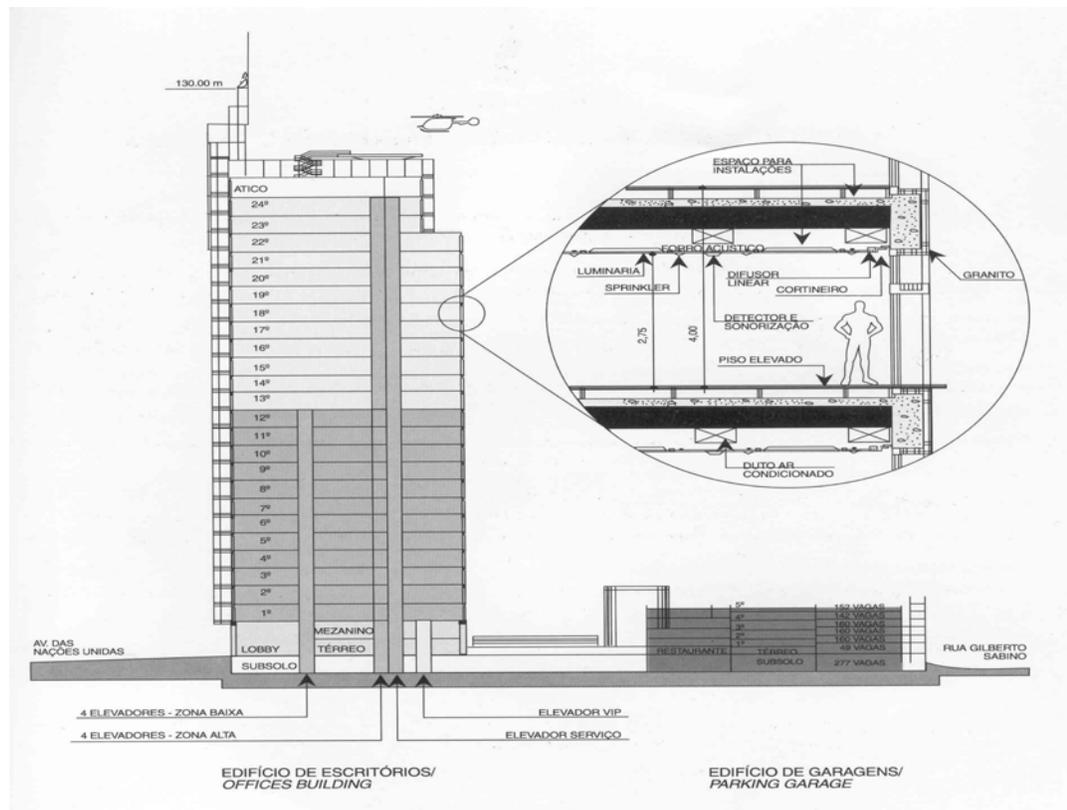


**Figura 4.3 – Mapa do quarteirão e implantação do Edifício Birmann 21**

### 4.2.3. Tipologia do Edifício e do Andar Tipo.

A torre de escritórios possui 27 pavimentos e 130m de altura. A configuração da ocupação horizontal da torre, além do subsolo, térreo e mezanino, apresenta quatro tipos de pavimento, com algumas variações dentro de cada um dos grupos. Os elevadores dividem a torre em três módulos verticais.

Do 1º ao 12º pavimento, possui uma área de 1.181m<sup>2</sup>, e é servido pelo grupo de elevadores classificados como bateria baixa. O conjunto do 13º ao 19º, possui uma variação de área e é servido pela bateria alta. O conjunto do 20º ao 22º possui 1.014 m<sup>2</sup> por pavimento, sendo que o 21º apresenta um jardim externo. O último conjunto, do 23º ao 26º também apresenta diferenciação entre aos pavimentos.



**Figura 4.4** – Corte do edifício com indicação das áreas a cada pavimento

#### 4.2.4. Sistema Construtivo

A estrutura do edifício é feita em concreto armado de maneira tradicional. A estrutura define uma grande área de sustentação central, a caixa dos elevadores, que funciona como um grande pilar, uma planta livre e pilares ao longo da periferia, recuados da fachada, que não possui qualquer função estrutural. As lajes foram dimensionadas para receber até 500Kg por m<sup>2</sup>. Para eficiência dos serviços de instalação, foram usados forros rebaixados e pisos elevados. Pelo piso são distribuídos: a energia elétrica e o sistema de telefonia. Pelo forro são distribuídos: a iluminação artificial, o sistema de detecção contra incêndio e insufladores, e retorno do ar condicionado.

O volume é revestido com vidro e granito. A fachada sudeste em curva, tratada em pele de vidro curva-se em direção leste, favorecendo a melhor orientação solar deste hemisfério. A falta total de proteção nesta fachada pode ocasionar problemas térmicos no verão, de acordo com a carta solar da latitude de São Paulo, durante os meses de dezembro e janeiro, a fachada sul, é a única que recebe sol do nascente ao poente, enquanto a orientação norte, que representa o problema pelo resto do ano, fica completamente fora da trajetória solar.

As fachadas noroeste e sudoeste, acesso à entrada principal à torre, são revestidas por granito, e com o propósito de bloquear o acesso direto dos raios solares ao interior, minimizando as cargas térmicas para o ar condicionado, foi projetados uma grelha com vidros recuados.

A fachada nordeste está exposta a uma grande intensidade de radiação solar direta e por questões estéticas apresenta uma extensa área envidraçada desprotegida. Esta fachada possui pequenas varandas que não chegam a oferecer uma proteção solar satisfatória às janelas.

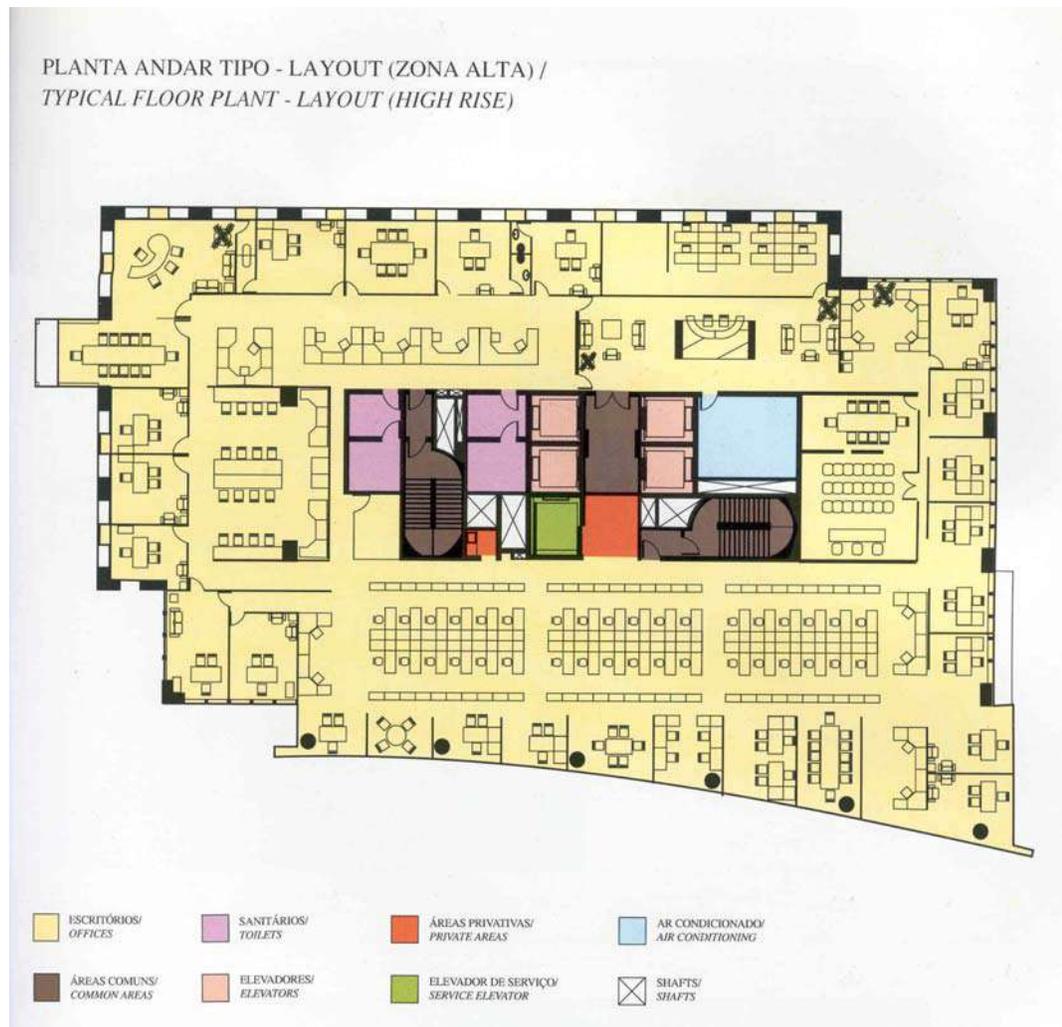


Figura 4.5 - Plantas de Layout para os pavimentos da bateria alta

**4.2.5. Aplicação do Regulamento – Ed. Birman 21**

A aplicação do regulamento será efetuada para a zona independente em um pavimento tipo (10º andar)

I) Levantamento dimensional do edifício:

a) Área útil de pavimento:  $A_p = 1.181 \text{ m}^2$

b) Área por orientação de cada tipo de parede:

- Área da parede nordeste =  $50,88 \text{ m}^2$

- Área da parede sudoeste =  $36,16 \text{ m}^2$

- Área da parede sudeste =  $11,96 \text{ m}^2$

- Área da parede noroeste =  $66,55 \text{ m}^2$

- Área total de parede =  $165,55 \text{ m}^2$

c) Área por orientação de cada tipo de envidraçado (como nesta tipologia cada orientação tem só um tipo de caixilho, só serão apresentadas as áreas dos vãos para cada orientação).

- Área de envidraçado a sudeste =  $130,63 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a noroeste =  $63,53 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a sudeste =  $35,61 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a noroeste =  $76,31 \text{ m}^2$

d) Pé-direito médio:  $Pd = 2,75 \text{ m}$

e) Área por orientação de cada tipo de parede, cobertura, pavimento ou envidraçado na envolvente interior, ou seja, que separa o espaço útil de espaço não útil:

- Área da parede interior =  $205,2 \text{ m}^2$

) II) Identificação do K de cada elemento:

- Parede de bloco cerâmico furado (12 cm) com reboco dos dois lados (3 cm) (envolvente interior), (2cm) (envolvente exterior) e granito (2cm) (envolvente exterior)

:K par ext =  $2,438 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

- Envidraçado (envolvente exterior): K vidro =  $4,8 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

- Parede de concreto (20cm) (envolvente interior): K par int =  $2,11 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

Como a parede faz divisão com área não útil, deve-se fazer a correção do valor de K para elementos da envolvente interior. (anexo 2 - tabela 11)

Portanto, para o cálculo das necessidades reais:

Fluxo ascendente:  $1/k = 1 / 2,11 + 0,08 \Rightarrow K \text{ cobertura} = 1,80 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

IV) Identificar o coeficiente de concentração de perdas  $f_c$  de cada elemento (anexo – o regulamento – tabela 9)

Paredes externas:  $f_c \text{ par est} = 1,5$ ;

Paredes internas:  $f_c \text{ par int} = 1,5$ ;

Calcular a inércia térmica da zona independente (I):

$$I = \sum M_i S_i / A_p \Rightarrow I = \{[(100/2) * 165,55] + [(150/2) * 1386,20]\} / 1181$$

$$I = 95,04 \text{ Kg/m}^2$$

Como  $95,04 < 150$ , a classe de inércia térmica é fraca (anexo 2 - tabela 5)

VI) Preencher as folhas de cálculo das necessidades reais de aquecimento 1 a, 1b, 1c, 1d:

VII) Passar os resultados para a folha de cálculo das necessidades reais de aquecimento (folha de cálculo NA) e achar as necessidades brutas de aquecimento, necessário para o cálculo do fator de utilização dos ganhos solares ( $\eta$ ).

VIII) Preencher a folha de cálculo 1e e achar os ganhos solares brutos necessários para o cálculo do ( $\eta$ ):

IX) Cálculo do fator de utilização dos ganhos solares:

O valor de  $\eta$  é obtido através de fórmula (anexo2). Nessa fórmula entra-se com o valor de GLR. O GLR é igual a ganhos solares brutos (anexo 1 - folha de cálculo 1.e) dividido pelas necessidades brutas de aquecimento (anexo 1 - folha de cálculo NA).

$$\text{GLR} = 9027,76 / 43035,18 = 0,21$$

Então, pela fórmula,  $\eta = 0,95$

IX) Terminar de preencher a folha de cálculo 1.e, calculando os ganhos solares úteis e, em seguida, transferir os resultados para a folha de cálculo NA.

X) Cálculo do NA.

Início do Cálculo das necessidades de referência de aquecimento (NAref):

XI) Levantamento das áreas totais verticais, horizontais e de envidraçados, independentemente do elemento ser da envolvente interior ou da envolvente exterior:

Área total dos elementos opacos verticais:  $A_{op\ vert} = 370,75$

Área total dos elementos envidraçados:  $A_{elem\ env} = 306,08$

XII) Verificar se a área dos elementos envidraçados [A env] é inferior a 15% da Área Útil do Pavimento [Ap]:

$$A_{env} / A_p \leq 0,15$$

$$A_{env} / A_p = 306,08 / 1181$$

Como  $0,26 > 0,15$ , então considerar a área dos elementos envidraçados [A env] igual a 15% da Área útil de pavimento [Ap]:

$$\text{Então, } A_{env} = A_p * 0,15 = 1.181 * 0,15 = 177,15 \text{ m}^2$$

$$A_{env} = 177,15 \text{ m}^2$$

XIII) Levantamento dos dados climáticos:

Graus-Dia [GD] = 500 °Cdia/ano

Período de insolação [M] = 2,5 meses

XIV) Valores de K de referência:

Kref op vert = 1,4

Kref env = 4,2

Para o cálculo das necessidades de referências internas, faz-se as correções:

$$1/kref = 1/1,4 + 0,08 = Kref int = 0,26 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

XV) Cálculo das necessidades nominais de referência da estação de aquecimento (Naref): preenchimento da Folha de Cálculo 2 (anexo 1).

Início dos cálculos das necessidades reais de resfriamento (Nv). Caso não tenham sido realizados os cálculos das necessidades reais de aquecimento (NA), refazer os passos I, II, III, IV, V, XI e XII.

XVI) Cálculo do fator solar (S) de cada vão envidraçado. O cálculo do fator solar segue a fórmula  $S = S' * S_v / 0,85$ , para vidros diferentes do vidro comum, sendo que S' é o fator solar de proteção (anexo 2 - tabela 18) e S<sub>v</sub> é o fator solar do vidro (anexo 2 - tabela 17). O vidro utilizado nos caixilhos deste edifício é o vidro espelhado, cujo S<sub>v</sub> = 0,54. Como possuem uma persiana clara interna de proteção,  $S = S' = 0,22$ .

XVII) Cálculo do fator de obstrução dos envidraçados ( $\phi$ ). Normalmente, adota-se 0,7, admitindo-se o uso de caixilho padrão e que não há obstrução significativa. Como não há obstrução externa significativa, o cálculo do  $\phi$  é igual ao cálculo do  $\phi$  caixilho.

$$\phi_{\text{final}} = \phi_{\text{caixilho}} = 1$$

XVIII) Levantamento das temperaturas efetivas ( $\Delta T_e$ ) e dos ganhos solares médios da estação de resfriamento.

Pelo anexo 2 – tabela 13:  $\Delta T_e = 9,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (inércia fraca)

Pelo anexo 2 – tabela 16:

GR sudeste = 33 Kwh/m<sup>2</sup>mês

GR noroeste = 28,6 Kwh/m<sup>2</sup>mês

GR sudoeste = 33 Kwh/m<sup>2</sup>mês

GR nordeste = 28,6 Kwh/m<sup>2</sup>mês

Pela folha de cálculo 4:  $\Delta T_{e\text{ref}} = 7,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Pela folha de cálculo 4:  $GR_{\text{ref}} = 6,5 \text{ Kwh/m}^2\text{mês}$

XIX) Preenchimento da folha de cálculo das necessidades reais de resfriamento (NR)

XX) Preenchimento da folha de cálculo de referência de resfriamento (Nrref):

XXI) Comparação entre os valores reais das necessidades energéticas de aquecimento e resfriamento com as respectivas necessidades de referência. Para que a edificação esteja aprovada,  $NR \leq NR_{ref}$  e  $NA \leq N_{aref}$ .

aquecimento

$$2 NR \leq NR_{ref}$$

$$15,28 \leq 6,04 - \text{falso}$$

resfriamento

$$NA \leq N_{aref}$$

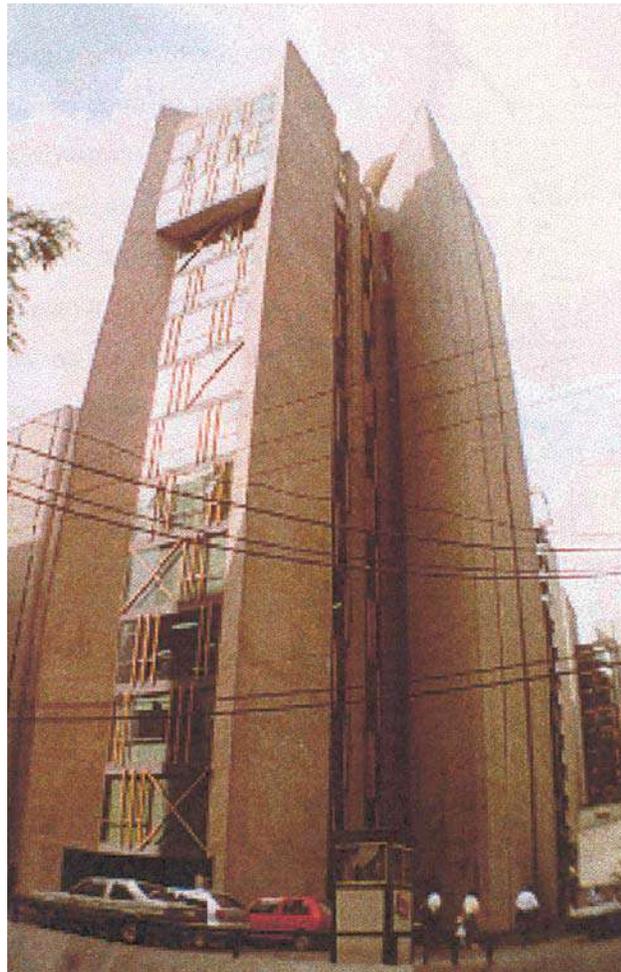
$$29,26 \leq 25,43 - \text{falso}$$

Conclusão: **Reprovado**

### 4.3. ESTUDO DE CASO 2

#### EDIFÍCIO SEDE DA LISTEL

Este projeto foi desenvolvido pelo escritório do arquiteto Carlos Bratke em 1982, e a construção foi terminada em 1984.

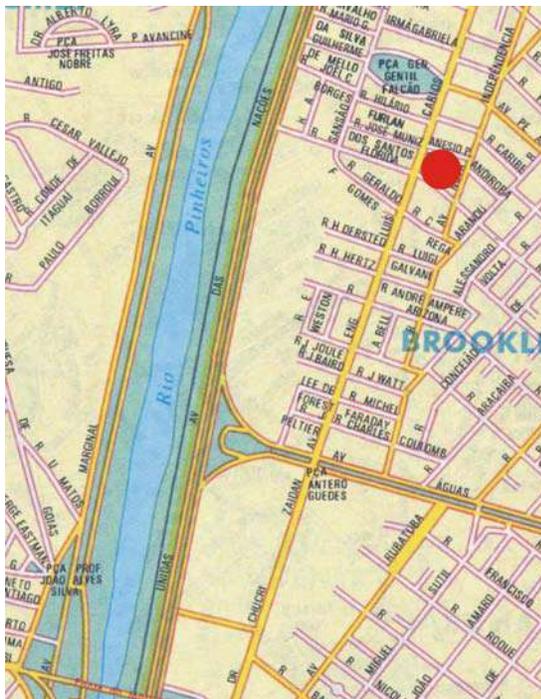


**Figura 4.6 - Fachada principal – Caso 2**

#### 4.3.1. Localização

O edifício está localizado na Rua Flórida 1.738, travessa da Avenida Eng. Luís Carlos Berrini e Rua Anésio Pinto Rosa, zona sul de São Paulo no bairro do Brooklin. O

acesso principal se dá pela Rua Flórida, onde estão situados os acessos aos estacionamentos dos visitantes e ao 1º subsolo.



**Figura 4.7 – Localização do edifício na malha urbana – estudo de caso 2**

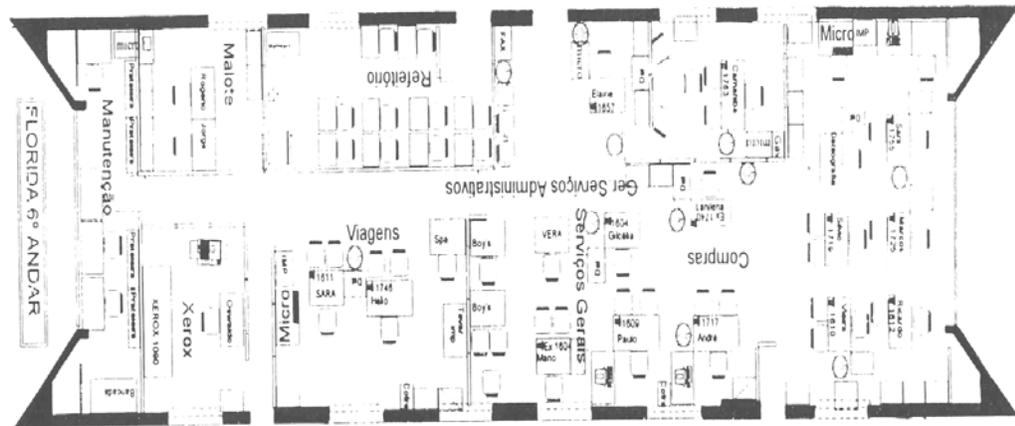
### 4.3.2. Implantação

Ocupa uma área de 5.465,80m<sup>2</sup> do bairro do Brooklin em uma área de expansão do setor terciário onde predominam edifícios de escritórios. É cercada por empreendimentos imobiliários de médio e grande porte.

O edifício está posicionado próximo à Av. Marginal do Rio Pinheiros e pode ser acessada por importantes vias da cidade São Paulo como a Av. dos Bandeirantes.

### 4.3.3. Tipologia do Edifício e do Andar Tipo

A torre de escritórios possui um subsolo; um pavimento onde se localiza o setor administrativo (pavimento térreo) e treze pavimentos tipo. Estes pavimentos possuem planta livre com divisórias baixas, dois sanitários e copa, em um total de 311,75m<sup>2</sup> de área total útil por pavimento.



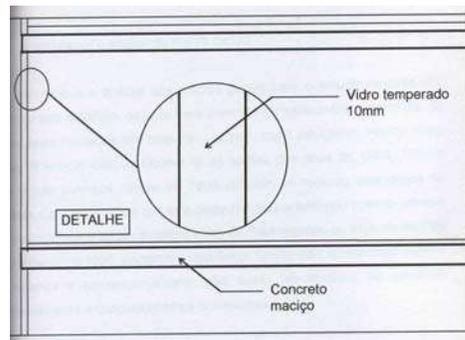
**Figura 4.8 – Plana do pavimento tipo – 6º pavimento**

#### **4.3.4. Sistema Construtivo**

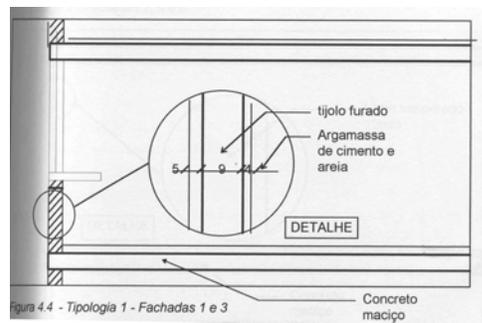
A estrutura do edifício é feita em concreto maciço. Baseia-se em liberar as áreas de apoio, sanitários, escadas e circulação das áreas livres de trabalho. A vedação é feita com tijolo furado e argamassa de cimento e areia e por vidro temperado de 10mm. Foram usados forros rebaixados para a distribuição de energia elétrica, sistemas de telefonia, iluminação artificial e retorno do ar condicionado.

O vidro não é o principal elemento na fachada, e foi utilizado de uma forma coerente com a sua função, permitindo a entrada da iluminação natural sem, entretanto ocasionar ganhos de calor excessivo.

O projeto possui duas faces menores (9,30m cada) envidraçadas orientadas à noroeste e sudeste e duas faces maiores com caixilhos e alvenaria orientadas à nordeste e sul. Os vidros não possuem nenhum tipo de proteção exterior à radiação solar incidente.



**Figura 4.9 – Tipologia fachadas 2,4 e 5**



**Figura 4.10 – Tipologia Fachadas 1 e 3**

**4.3.5. Aplicação do Regulamento – Ed. Listel.**

A aplicação do regulamento será efetuada para a zona independente em um pavimento tipo (6º andar).

D) Levantamento dimensional do edifício:

a) Área útil de pavimento:  $A_p = 311,75 \text{ m}^2$

b) Área por orientação de cada tipo de parede:

- Área da parede nordeste =  $8,10 \text{ m}^2$

- Área da parede sudoeste =  $8,10 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a noroeste =  $65,39 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a sudeste =  $65,39 \text{ m}^2$

- Área total de parede =  $146,98 \text{ m}^2$

c) Área por orientação de cada tipo de envidraçado (como nesta tipologia cada orientação tem só um tipo de caixilho, só serão apresentadas as áreas dos vãos para cada orientação).

- Área de envidraçado a sudeste =  $28,07 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a noroeste =  $28,07 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a sudoeste =  $17,01 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a nordeste =  $17,01 \text{ m}^2$

d) Pé-direito médio:  $P_d = 2,70 \text{ m}$

e) Área por orientação de cada tipo de parede, cobertura, pavimento ou envidraçado na envolvente anterior, ou seja, que separa o espaço útil de espaço não útil:

- Área da parede interior =  $10,80 \text{ m}^2$

II) Identificação do K de cada elemento:

- Parede de bloco cerâmico furado (10 cm) com reboco dos dois lados (4 cm - envolvente interior e 5 cm – envolvente exterior):  $K_{\text{par ext}} = 1,501 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

- Envidraçado (vidro temperado bronze + incolor  $\Rightarrow$  5 mm + 5 mm - envolvente exterior):  $K_{\text{vidro}} = 4,8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Parede de bloco de concreto (18 cm) revestido nas duas faces por argamassa com cimento (2cm cada face):  $K_{\text{par int}} = 2,473 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Como a parede faz divisão com área não útil, deve-se fazer a correção do valor de K para elementos da envolvente interior. (anexo 2 - tabela 11)

Portanto, para o cálculo das necessidades reais:

Fluxo ascendente:  $1/k = 1/2,473 + 0,08 \Rightarrow K_{\text{cobertura}} = 2,064 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

III) Identificar o coeficiente de concentração de perdas  $f_c$  de cada elemento (anexo 2 - tabela 9)

Paredes externas:  $f_{c \text{ par est}} = 1,5;$

Paredes internas:  $f_{c \text{ par int}} = 1,5;$

IV) Calcular a inércia térmica da zona independente (I):

$$I = \sum M_i S_i / A_p \Rightarrow I = \{[(100/2)*146,98] + [(150/2)*315,75]\} / 311,75$$

$$I = 99,54$$

Como  $99,54 < 150$ , a classe de inércia térmica é fraca (anexo 2 - tabela 5)

V) Preencher as folhas de cálculo das necessidades reais de aquecimento 1a, 1b, 1c, 1d:

VI) Passar os resultados para a folha de cálculo das necessidades reais de aquecimento (folha de cálculo NA) e achar as necessidades brutas de aquecimento, necessário para o cálculo do fator de utilização dos ganhos solares ( $\eta$ ):

VII) Preencher a folha de cálculo 1e e achar os ganhos solares brutos necessários para o cálculo do ( $\eta$ ):

VIII) Cálculo do fator de utilização dos ganhos solares:

O valor de  $\eta$  é obtido através de fórmula (anexo 2). Nessa fórmula entra-se com o valor de GLR. O GLR é igual a ganhos solares brutos (anexo 1- folha de cálculo 1.e) dividido pelas necessidades brutas de aquecimento (anexo 1 - folha de cálculo NA)

$$\text{GLR} = 4224,23 / 12899,49 = 0.33$$

Então, pela fórmula,  $\eta = 1$

IX) Terminar de preencher a folha de cálculo 1.e, calculando os ganhos solares úteis e, em seguida, transferir os resultados para a folha de cálculo NA.

X) Cálculo do NA.

Início do Cálculo das necessidades de referência de aquecimento (Naref):

XI) Levantamento das áreas totais verticais, horizontais e de envidraçados, independentemente do elemento ser da envolvente interior ou da envolvente exterior:

Área total dos elementos opacos verticais:  $A_{op\ vert} = 157,78$

Área total dos elementos envidraçados:  $A_{elem\ env} = 90,16$

XII) Verificar se a área dos elementos envidraçados [ $A_{env}$ ] é inferior a 15% da Área Útil do Pavimento [ $A_p$ ]:

$$A_{env} / A_p \leq 0,15$$

$$A_{env} / A_p = 90,16 / 311,75 = 0,29m^2$$

Como  $0,29 > 0,15$ , então considerar a área dos elementos envidraçados [ $A_{env}$ ] igual a 15% da Área útil de pavimento [ $A_p$ ]:

$$\text{Então, } A_{env} = A_p * 0,15 = 311,75 * 0,15$$

$$A_{env} = 46,76\ m^2$$

XIII) Levantamento dos dados climáticos:

$$\text{Graus-Dia [GD]} = 500^\circ\text{C dia /ano}$$

$$\text{Período de insolação [M]} = 2,5\ \text{meses}$$

XIV) Valores de K de referência:

$$K_{ref\ op\ vert} = 1,4$$

$$K_{ref\ env} = 5,8$$

Para o cálculo das necessidades de referências internas, faz-se as correções:

$$1/k_{ref} = 1/1,4 + 0,08 \Rightarrow K_{ref\ int} = 1,26\ \text{W/m}^2\ ^\circ\text{C}$$

XV) Cálculo das necessidades nominais de referência da estação de aquecimento (N<sub>aref</sub>): preenchimento da Folha de Cálculo 2 (anexo1).

Início dos cálculos das necessidades reais de resfriamento (N<sub>v</sub>). Caso não tenham sido realizados os cálculos das necessidades reais de aquecimento (N<sub>A</sub>), refazer os passos I, II, III, IV, V, XI e XII.

XVI) Cálculo do fator solar (S) de cada vão envidraçado. O cálculo do fator solar segue a fórmula  $S = S' * S_v / 0,85$ , para vidros diferentes do vidro comum, sendo que S' é o fator solar de proteção (cap 4 – tabela 18) e S<sub>v</sub> é o fator solar do vidro (cap 4 – tabela 17). O vidro utilizado nos caixilhos deste edifício é o vidro bronze + incolor (5mm + 5mm), cujo S<sub>v</sub> = 0,54. Como não existe nenhum tipo de proteção, S = S<sub>v</sub>.

XVII) Cálculo do fator de obstrução dos envidraçados (φ). Normalmente, adota-se 0,7, admitindo-se o uso de caixilho padrão e que não há obstrução significativa. Como não há obstrução externa significativa, o cálculo do φ é igual ao cálculo do φ caixilho.

$$\phi_{\text{final}} = \phi_{\text{caixilho}} = 1$$

XVIII) Levantamento das temperaturas efetivas (ΔT<sub>e</sub>) e dos ganhos solares médios da estação de resfriamento.

Pelo anexo 2 – tabela 13: ΔT<sub>e</sub> = 9,5 °C (inércia fraca)

Pelo anexo 2 – tabela 16:

GR sudeste = 33 Kwh/m<sup>2</sup>mês

GR noroeste = 28,6 Kwh/m<sup>2</sup>mês

GR sudoeste = 33 Kwh/m<sup>2</sup>mês

GR nordeste = 28,6 Kwh/m<sup>2</sup>mês

Pela folha de cálculo 4:  $\Delta T_{\text{evref}} = 7,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Pela folha de cálculo 4:  $G_{\text{Rref}} = 6,5 \text{ Kwh/m}^2\text{mês}$

XIX) Preenchimento da folha de cálculo das necessidades reais de resfriamento (NR)

XX) Preenchimento da folha de cálculo de referência de resfriamento (Nrref):

XXI) Comparação entre os valores reais das necessidades energéticas de aquecimento e resfriamento com as respectivas necessidades de referência. Para que a edificação esteja aprovada,  $NR \leq NR_{\text{ref}}$  e  $NA \leq N_{\text{ref}}$ .

Aquecimento

$NR \leq NR_{\text{ref}}$

$8,25 \leq 15,53 \Rightarrow \text{OK}$

Resfriamento

$NA \leq N_{\text{ref}}$

$21,83 \leq 42,20 \Rightarrow \text{OK}$

Conclusão: **Aprovado**

#### 4.4. Estudo de caso 3

##### EDIFÍCIO SEDE DA NESTLÉ

Este projeto foi desenvolvido pelo arquiteto Jean Carlo Gasperini em 1990, e a construção foi terminada em 1993.



**Figura 4.11 – Fachada Principal – Caso 3**

##### 4.4.1. Localização

O edifício está localizado na Avenida das Nações Unidas 12.495, (Marginal do Rio Pinheiros). O acesso principal se dá pela Av. das Nações Unidas e possui um acesso

secundário para o estacionamento de visitantes e colaboradores pela Av. Eng. Luís Carlos Berrini 1.376.



**Figura 4.12 – Localização do Edifício na Malha Urbana**

#### 4.4.2. Implantação

Possui uma área total construída de aproximadamente 103.659m<sup>2</sup>, no bairro do Brooklin em uma região próxima a supermercados, lojas, serviços onde predominam edifícios de escritórios. É cercada por empreendimentos imobiliários de médio e grande porte do setor terciário. O edifício está posicionado próximo à Av. Águas Espraiadas.

A torre principal fica de frente para a Av. Nações Unidas e os demais edifícios onde estão localizados o restaurante, o CPD, a lanchonete, o centro médico, as cozinhas experimentais e o estacionamento têm sua entrada principal voltada para a Av. Engenheiro Luís Carlos Berrini.

#### 4.4.3. Tipologia do Edifício e do Andar Tipo

A torre de escritórios possui dois subsolos, um pavimento térreo com pé direito duplo, dois andares técnicos e dezoito pavimentos tipo. O pavimento tipo possui uma forma de hexágono e no centro estão situados oito elevadores sociais, um elevador de serviço, copa, almoxarifado, depósito, hall de circulação e “shafts” verticais de manutenção. Esta distribuição possibilita a visão externa e a presença de iluminação natural em todo o andar.

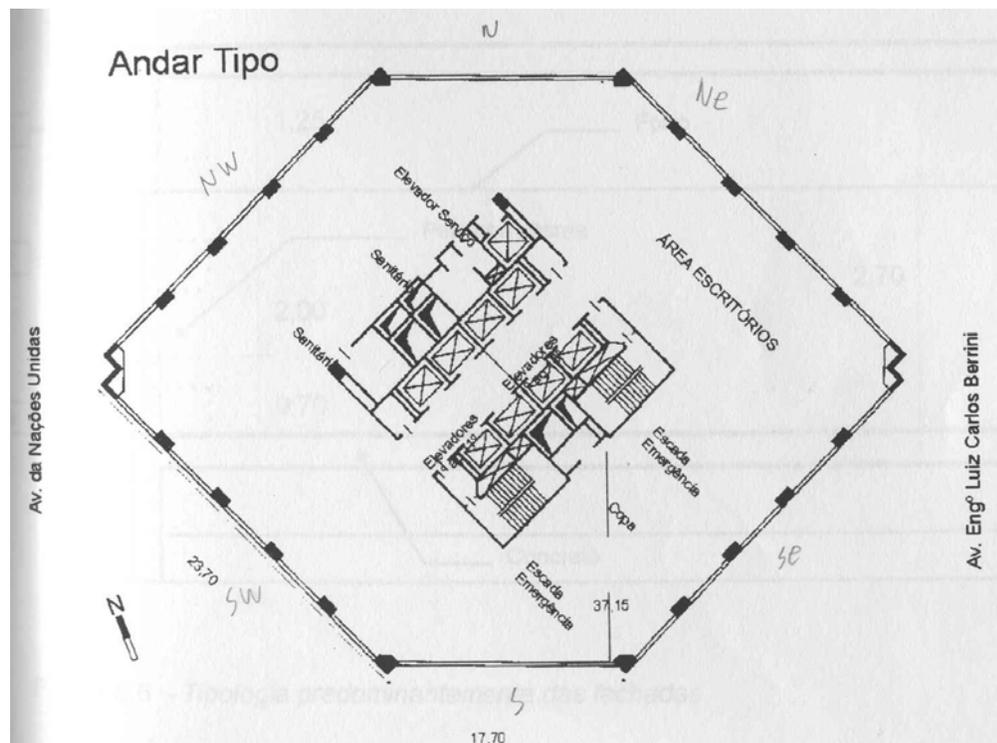
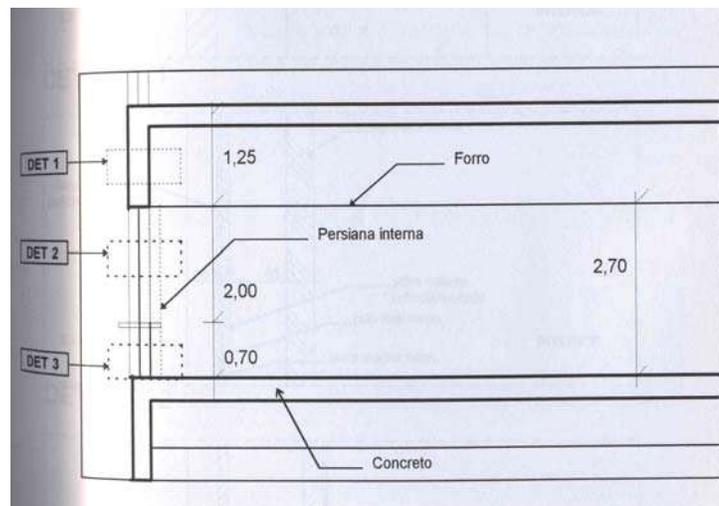


Figura 4.13 – Planta do pavimento tipo

#### 4.4.4. Sistema Construtivo

A estrutura do edifício é feita em concreto maciço. A envolvente exterior é predominantemente de granito polido e vidro duplo laminado, com película refletiva na cor verde. Foram usados forros rebaixados para a distribuição de energia elétrica, sistemas de telefonia, iluminação artificial e retorno do ar condicionado.



**Figura 4.14 – Tipologia Fachada**

#### 4.4.5. APLICAÇÃO DO REGULAMENTO - NESTLÉ

A aplicação do regulamento será efetuada para a zona independente em um pavimento tipo (6º andar).

I) Levantamento dimensional do edifício:

a. Área útil de pavimento:  $A_p = 1.028 \text{ m}^2$

b. Área por orientação de cada tipo de parede:

- Área da parede nordeste =  $40,19 \text{ m}^2$

- Área da parede sudoeste =  $40,19 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a noroeste =  $40,19 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a sudeste =  $40,19 \text{ m}^2$

- Área total de parede =  $160,78 \text{ m}^2$

c. Área por orientação de cada tipo de envidraçado (como nesta tipologia cada orientação tem só um tipo de caixilho, só serão apresentadas as áreas dos vãos para cada orientação).

- Área de envidraçado a sul =  $47,79 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a norte =  $47,79 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a sudeste =  $23,80 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a noroeste =  $23,80 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a sudoeste =  $23,80 \text{ m}^2$

- Área de envidraçado a nordeste =  $23,80 \text{ m}^2$

d. Pé-direito médio:  $P_d = 2,70 \text{ m}$

e. Área por orientação de cada tipo de parede, cobertura, pavimento ou envidraçado na envolvente anterior, ou seja, que separa o espaço útil de espaço não útil:

- Área da parede interior = 369,58 m<sup>2</sup>

II) Identificação do K de cada elemento:

- Envidraçado (vidro duplo com película refletora  $\Rightarrow$  5mm + 5mm – envolvente exterior): K par ext = 4,8 W/m<sup>2</sup> °C

- Envidraçado - vidro opaco 10mm (envolvente exterior), película de ar (75mm), madeira -12mm (envolvente interior): K par ext = 2,335 W/m<sup>2</sup> °C

- Parede de granito rosa 30mm (envolvente exterior), lamina de ar (70mm), concreto celular 200 mm (envolvente interior): K par ext = 2,229 W/m<sup>2</sup> °C

- Parede de bl. de concreto – 230mm (envolvente interior): K par int = 2,473 W/m<sup>2</sup> °C

Como a parede faz divisão com área não útil, deve-se fazer a correção do valor de K para elementos da envolvente interior. (anexo 2 - tabela 11)

Portanto, para o cálculo das necessidades reais:

Fluxo ascendente:  $1/k = 1/2,473 + 0,08 \Rightarrow K_{cobertura} = 2,064 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$

III) Identificar o coeficiente de concentração de perdas  $f_c$  de cada elemento (anexo 2 – tabela 9)

Paredes externas:  $f_c$  par est = 1,5;

Paredes internas:  $f_c$  par int = 1,5;

IV) Calcular a inércia térmica da zona independente (I):

$$I = \Sigma M_i S_i / A_p \Rightarrow I = \{[(100/2)*160,78] + [(150/2)*1397,58]\} / 1028$$

$$I = 109,78$$

Como  $109,78 < 150$ , a classe de inércia térmica é fraca (anexo 2 - tabela 5).

V) Preencher as folhas de cálculo das necessidades reais de aquecimento 1a, 1b, 1c, 1d:

VI) Passar os resultados para a folha de cálculo das necessidades reais de aquecimento (anexo 1 - folha de cálculo NA) e achar as necessidades brutas de aquecimento, necessário para o cálculo do fator de utilização dos ganhos solares ( $\eta$ ):

VII) Preencher a folha de cálculo 1e e achar os ganhos solares brutos necessários para o cálculo do ( $\eta$ ):

VIII) Cálculo do fator de utilização dos ganhos solares:

O valor de  $\eta$  é obtido através de fórmula (anexo 1). Nessa fórmula entra-se com o valor de GLR. O GLR é igual a ganhos solares brutos (anexo 1 - folha de cálculo 1.e) dividido pelas necessidades brutas de aquecimento (anexo 1- folha de cálculo NA)

$$GLR = 4224,23/12899,49 = 0.33$$

Então, pela fórmula,  $\eta = 1$

IX) Terminar de preencher a folha de cálculo 1.e, calculando os ganhos solares úteis e, em seguida, transferir os resultados para a folha de cálculo NA.

X) Cálculo do NA.

Início do Cálculo das necessidades de referência de aquecimento (NAref):

XI) Levantamento das áreas totais verticais, horizontais e de envidraçados, independentemente do elemento ser da envolvente interior ou da envolvente exterior:

Área total dos elementos opacos verticais:  $A_{op\ vert} = 530,36$

Área total dos elementos envidraçados:  $A_{elem\ env} = 190,78$

XII) Verificar se a área dos elementos envidraçados [ $A_{env}$ ] é inferior a 15% da Área Útil do Pavimento [ $A_p$ ]:

$$A_{env} / A_p \leq 0,15$$

$$A_{env} / A_p = 190,78 / 1028 = 0,18m^2$$

Como  $0,18 > 0,15$ , então considerar a área dos elementos envidraçados [ $A_{env}$ ] igual a 15% da Área útil de pavimento [ $A_p$ ]:

$$\text{Então, } A_{env} = A_p * 0,15 = 1028 * 0,15$$

$$A_{env} = 154,20\ m^2$$

XIII) Levantamento dos dados climáticos:

$$\text{Graus-Dia [GD]} = 500^\circ\text{C dia /ano}$$

$$\text{Período de insolação [M]} = 2,5\ \text{meses}$$

XIV) Valores de K de referência:

$$K_{ref\ op\ vert} = 1,4$$

$$K_{ref\ env} = 5,8$$

Para o cálculo das necessidades de referências internas, faz-se as correções:

$$1/k_{ref} = 1/1.4 + 0,08 \Rightarrow K_{ref\ int} = 1,26\ W/m^2\ ^\circ C$$

XV) Cálculo das necessidades nominais de referência da estação de aquecimento ( $N_{ref}$ ): preenchimento da Folha de Cálculo 2 (anexo 1).

Início dos cálculos das necessidades reais de resfriamento ( $N_v$ ). Caso não tenham sido realizados os cálculos das necessidades reais de aquecimento ( $N_A$ ), refazer os passos I, II, III, IV, V, XI e XII.

XVI) Cálculo do fator solar ( $S$ ) de cada vão envidraçado. O cálculo do fator solar segue a fórmula  $S = S' * S_v / 0,85$ , para vidros diferentes do vidro comum, sendo que  $S'$  é o fator solar de proteção (anexo 2 – tabela 18) e  $S_v$  é o fator solar do vidro (anexo 2 – tabela 17). O vidro utilizado nos caixilhos deste edifício é o vidro refletante verde + incolor (5mm + 5mm), cujo  $S_v = 0,32$ . Como existe a proteção de persianas de madeira,  $S = S_v$ .

XVII) Cálculo do fator de obstrução dos envidraçados ( $\phi$ ). Normalmente, adota-se 0,7, admitindo-se o uso de caixilho padrão e que não há obstrução significativa. Como não há obstrução externa significativa, o cálculo do  $\phi$  é igual ao cálculo do  $\phi$  caixilho.

$$\phi_{final} = \phi_{caixilho} = 1$$

XVIII) Levantamento das temperaturas efetivas ( $\Delta T_e$ ) e dos ganhos solares médios da estação de resfriamento.

Anexo 2 – tabela 13:  $\Delta T_e = 9,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (inércia fraca)

Anexo 2 – tabela 16:

GR sudeste = 33 Kwh/m<sup>2</sup>mês

GR noroeste = 28,6 Kwh/m<sup>2</sup>mês

GR sudoeste = 33 Kwh/m<sup>2</sup>mês

GR nordeste = 28,6 Kwh/m<sup>2</sup>mês

Pela folha de cálculo 4:  $\Delta T_{e\text{ref}} = 7,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Pela folha de cálculo 4:  $GR_{\text{ref}} = 6,5 \text{ Kwh/m}^2\text{mês}$

XIX) Preenchimento da folha de cálculo das necessidades reais de resfriamento (NR)

XX) Preenchimento da folha de cálculo de referência de resfriamento (Nrref):

XXI) Comparação entre os valores reais das necessidades energéticas de aquecimento e resfriamento com as respectivas necessidades de referência. Para que a edificação esteja aprovada,  $NR \leq NR_{\text{ref}}$  e  $NA \leq N_{\text{ref}}$ .

$$NR \leq NR_{\text{ref}}$$

$$18,8 \leq 8,33 \Rightarrow \text{Falso}$$

$$NA \leq N_{\text{ref}}$$

$$29,49 \leq 32,72 \Rightarrow \text{OK}$$

Conclusão: **Reprovado**

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

#### **5.1. Considerações Preliminares**

Este capítulo apresenta as principais conclusões acerca da aplicação do regulamento e análises realizadas durante todo o processo de pesquisa desta dissertação.

As análises finais a seguir refletem e procuram esclarecer questões importantes no âmbito das tecnologias passivas versos o consumo de energia elétrica em edifícios de escritórios situados na cidade de São Paulo.

#### **5.2. Análise da Aplicação dos Regulamentos**

##### **5.2.1. Estudo de caso 1**

##### **Edifício Birmann 21 - Edifício Sede da Abril**

A partir dos resultados da aplicação do regulamento termo-energético proposto, para a zona independente analisada os dois valores ficaram acima dos valores de referência. Constatamos que apesar da grande área envidraçada, para a estação de aquecimento os valores obtidos foram maiores que os desejados. Isto se deve a um baixo fator solar apresentado pelo vidro que possui uma película refletiva e pela fraca inércia térmica das envolventes. Na estação de arrefecimento esta baixa inércia térmica e a grande quantidade de vidro permitem ganhos solares excessivos e a energia excedente altera as condições do ambiente interno, a retirada desta energia indesejada gera um alto gasto.

A primeira tentativa de melhorar o desempenho da zona estudada foi refazendo o cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento e arrefecimento acrescentando uma camada de 3cm de lã de rocha como isolamento térmico. Esse isolamento não foi suficiente e a zona estudada novamente foi reprovada para a estação de aquecimento. Não sendo suficiente o isolamento de 3 cm de lã de rocha, acrescentamos a modificação do valor do fator de obstrução para 30% (brises) na fachada SE, alterando as cargas térmicas provenientes do vidro e do sombreamento

externo para a estação de resfriamento, e desta vez o resultado foi positivo para a estação de resfriamento.

Em uma terceira tentativa aumentamos a camada de isolamento das envoltentes opacas para 20 mm de lã de rocha e o resultado foi positivo para a estação de aquecimento e de resfriamento.

Uma outra tentativa foi rotacionar a planta 90° no sentido horário. Os resultados obtidos para esta situação tanto para estação de resfriamento como para a estação de aquecimento foram negativos.

### **5.2.2. Estudo de caso 2**

#### **Edifício Sede da Listel**

Diferenciando do caso anterior este edifício foi aprovado tanto na estação de aquecimento como na estação de resfriamento. Os valores absolutos para a estação de aquecimento foram maiores que os valores encontrados para a estação de resfriamento como já era de ser esperado devido à estrutura do algoritmo do regulamento. O edifício apresenta um bom desempenho térmico, dando mais evidências as suposições levantadas, que existe um impacto da orientação solar em relação às cargas térmicas internas, e que esta zona independente apresenta uma leve queda de suas necessidades reais devido aos ganhos pêlos envidraçados, pois possui fator de obstrução maior.

As variações apresentadas casam com as expectativas teóricas de desempenho para cada zona independente, então se conclui que a proposta do regulamento não interferiu no resultado.

### **5.2.3. Estudo de caso 3**

#### **Edifício Sede da Nestlé**

A zona independente aqui analisada estaria aprovada para a estação de aquecimento caso houvesse um regulamento termo-energético em vigor no estado de São Paulo. Para a questão do resfriamento ela foi reprovada. Duas tentativas foram apresentadas para

melhorar o desempenho da zona estudada. A primeira modificou o fator de obstrução (brises) para 40% nas fachadas N e S e acrescentou uma camada de lã de rocha nas paredes opacas da envolvente como isolamento térmico. A outra tentativa foi aumentar apenas a camada de isolante para 20 mm nas paredes. Para essas duas tentativas o resultado foi positivo.

### 5.3. Conclusões Gerais

Um regulamento que visa a diminuição do consumo de energia das edificações exige que o projeto faça um balanço entre os ganhos e as perdas energéticas. As diretrizes para a concepção de projetos arquitetônicos que otimizam o desempenho térmico e energético resultam em uma arquitetura inteligente e mais consciente. Como podemos notar os edifícios projetados para o clima em que estão inseridos geram um consumo menor de energia, e um maior conforto para os usuários, trazendo conseqüências sociais e econômicas.

Uma análise geral da aplicação do regulamento nos leva a concluir, que alguns aspectos construtivos podem nos auxiliar a tornar regulamentar uma edificação. Entre eles podemos citar:

- A utilização de materiais de inércia térmica pesada como prioridade;
- A aplicação de isolamento térmico seguindo os valores de referência;
- Evitar situações em que elementos da estrutura apresentem simultaneamente faces para o interior e para o exterior, isolando-os ou utilizando materiais menos condutores.
- Outro aspecto que merece atenção é o percentual de áreas de vidro nas fachadas. Este percentual deve ser inferior a 50% para a cidade de São Paulo. Quando este percentual é superior a este valor, as temperaturas internas máximas superam as externas, sem contar as cargas térmicas internas existentes (pessoas, equipamentos e iluminação artificial).
- O efeito do sombreamento solar em edifícios, é o fator preponderante na redução de cargas térmicas. Vale também ressaltar que o uso de protetores solares contribui para uma melhoria nas condições de iluminação natural destes ambientes, porque torna a iluminação mais homogênea e reduz significativamente os níveis de ofuscamento. Os

protetores solares externos demonstraram uma eficiência muito maior que os vidros conhecidos como sendo de elevada eficiência. Isto significa que o efeito do sombreamento externo é mais importante que o tipo de vidro adotado. Películas seletivas também podem ser mecanismos de proteção da insolação excessiva.

Por fim, os edifícios analisados em um primeiro momento não apresentam resultados satisfatórios, mas é capaz de mostrar que, com pequenas modificações no detalhamento técnico do projeto, pode se atingir níveis satisfatórios de desempenho.

#### **5.4. Recomendações**

Com relação às recomendações, deve se lembrar que a arquitetura se encontra hoje em um panorama que torna cada vez mais necessário o controle do consumo de energia. Isto, como já foi mencionado, induz a necessidade de conceber edificações com melhor eficiência energética. Para que esta realidade se torne possível é urgente aos arquitetos à compreensão do conforto ambiental e, conseqüentemente, o conhecimento das inter-relações de três categorias distintas de variáveis; variáveis climáticas, variáveis humanas e variáveis arquitetônicas. A temperatura, o movimento do ar, a umidade relativa e a radiação solar são fatores climáticos que podem sabiamente explorados na arquitetura com intuito de garantir o conforto dos usuários e a conseqüente racionalização do uso de energia.

#### **5.5. A Avaliação Crítica do Processo Metodológico**

Um dos primeiros aspectos que merece ser avaliado é a metodologia adotada nesta dissertação. O regulamento proposto foi elaborado por um grupo da FAUUSP coordenado pelo Prof. Dr. Marcelo de Andrade Roméro. Os resultados dessa dissertação foram comparados com os resultados da dissertação - Avaliação do Uso de Tecnologias Passivas Visando a Eficiência Energética em Edifícios de Escritórios da Arquiteta Lúcia F. S. Pirró Dilonardo. Em sua dissertação ela utilizou um programa de simulação, o software ESP-r. Podemos constatar que utilizando metodologias e ferramentas diferentes para análise do mesmo edifício, chegamos a resultados muito próximos. A

confirmação matemática de uma expectativa teórica demonstra a boa performance dos algoritmos da proposta de regulamento.

“O regulamento aqui apresentado não tem a pretensão de ser um trabalho conclusivo e nem de fazer exigências muito específicas, uma vez que a sua função é de fazer uma avaliação global, mas é capaz de mostrar que, com cuidados simples e pequenos na concepção e detalhamento técnico do projeto, pode-se atingir níveis satisfatórios de desempenho”. (Beraldo, J. e Saft, J., Estudo de Viabilidade de um Regulamento Energético para o estado de São Paulo, FAUUSP -2001).

Um trabalho de pesquisa com a participação de simulações deve atentar, não apenas a validação da proposta de regulamento, como também a confiabilidade dos dados de entrada, ou seja:

- o arquivo de dados climáticos;
- os arquivos com as propriedades físicas dos materiais de construção simulados;
- sistemas construtivos;
- as características do projeto (localização, implantação, insolação, tipologia do edifício);

Na maior parte dos casos, encontramos dificuldade em obter dados precisos relativos aos itens acima descritos. Ocorre que muitas vezes os arquivos de dados climáticos são superficiais, os fabricantes de materiais não dispõem de dados técnicos que caracterizam o seu produto e o próprio autor do projeto desconhece as ferramentas que visam a eficiência energética.

## **5.6. Perspectivas Futuras**

Espera-se que a introdução de um regulamento energético para a cidade de São Paulo traga impacto a curto e longo prazo, dentre os quais pode ser destacado:

- Redução do consumo de energia através do incentivo do uso de técnicas passivas, diminuindo assim o emprego de tecnologias ou sistemas de aquecimento ou arrefecimento;

- Melhoria da qualidade das edificações, com maior conforto para os usuários;
- Criação de parâmetros para novos projetos assim como para projetos de retrofit;
- Incentiva debates e pesquisas sobre tecnologias que visem a economia de energia e o conforto nas edificações.

## BIBLIOGRAFIA

AE - Agência para Aplicação de Energia (1986). Manual de Economia de Energia em Condomínios Residenciais. São Paulo, DESP /CPFL /ELETROPAULO /CONGÁS, 40p.

\_\_\_\_\_ (1986). Auto - Avaliação dos Pontos de Desperdício de Energia Elétrica na Indústria. São Paulo, CESP /CPFL /ELETROPAULO /CONGÁS, 43p.

\_\_\_\_\_ (1986). Economia de Energia Elétrica na Indústria - Usos Clássicos. São Paulo, CESP /CPFL /ELETROPAULO /CONGÁS, 43p.

\_\_\_\_\_ (1990). Como Economizar Energia Elétrica no Comércio de Alimentos. São Paulo, CESP /CPFL /ELETROPAULO /CONGÁS, 43p.

\_\_\_\_\_ (1990). Como Economizar Energia Elétrica na sua Loja. São Paulo, CESP /CPFL /ELETROPAULO /CONGÁS, 43p.

\_\_\_\_\_ (1988). Auto - Avaliação dos Pontos de Desperdício de Energia Elétrica nos Setores Comerciais e de Serviços. São Paulo, CESP /CPFL /ELETROPAULO /CONGÁS, 43p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (1991). NB - 5410 - Instalações Elétricas em Baixa Tensão.

\_\_\_\_\_ (1986). NB - 5473 - Instalação Elétrica Predial - Terminologia, 16p.

\_\_\_\_\_ (1989). NBR - 5444 - Símbolos Gráficos para Instalações Elétricas Prediais, 9p.

\_\_\_\_\_ (1958). EB - 81 - Requisitos Gerais para Material de Instalações Elétricas Prediais, 6p. (Reimpressa em 1977).

\_\_\_\_\_ (1982). NB - 5413 - Iluminância de Interiores - Especificação, 19p.

\_\_\_\_\_ (1991). NB - 57 - Iluminância de Interiores, 13p.

\_\_\_\_\_ (1985). NBR - 5382 - Verificação de Iluminância de Interiores. São Paulo, abril de 1985, 6p.

\_\_\_\_\_ (1982). NBR 5413 - Iluminância de Interiores. São Paulo, abril de 1982, 19p.

ACHARD, P.; GICQUEL, R.(1986) European Passive Solar Handbook - Basic Principles and Concepts for Passive Solar Architecture. Luxembourg, Commission of the European Communities.

AGENCE POUR LES ECONOMIES D'ENERGIE (1980). Aides financières pour les travaux d'énergie dans les logements et les locaux à usage tertiaire. Paris.

AKUTSU, Maria et alii. (1987). Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares - Manual de procedimentos de avaliação. São Paulo, IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

ALLUCI, Márcia Peinado (1981). Recomendações para adequação de uma edificação ao clima, no Estado de São Paulo. São Paulo, FAUUSP. (Dissertação de mestrado).

\_\_\_\_\_ (1988). Economia de Energia Elétrica em Edifícios Comerciais: Subsídios para o Desenvolvimento de Projetos Arquitetônicos. Porto Alegre, CEPEL, 110p.

\_\_\_\_\_ (1989). Economia de Energia Elétrica em Edifícios Comerciais. In: Anais do Simpósio Nacional de Conservação de Energia nas Edificações. São Paulo, EPUSP\_CIVIL,p.91-107.

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. - Technical Bulletin (1986). Energy Use in Commercial Buildings: Measurements and Models. Atlanta.

\_\_\_\_\_ (1986). Energy Management Strategies. Atlanta.

\_\_\_\_\_ (1986). HVAC Controls for Energy Conservation. Atlanta.

\_\_\_\_\_ (1977). Ashrae Handbook & Product Directory - 1977 Fundamentals, p. 8.12 - 8.36.

AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fúlvio; KANACIRO, Cristina. Tratamento estatístico de dados climáticos para a definição dos períodos de verão e inverno. In: Anais do 2º Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Florianópolis - S.C., março de 1993, p.185-191.

BARGHINI, Alessandro (1988). O custo da Construção Civil e o Investimento necessário para a Alimentação da Edificações. São Paulo, Trabalho apresentado na reunião anual da SBPC.

BECHTEL, Robert B.; MARANS, Robert W.; MICHELSON, William (ed) (1987). Methods in Environmental and Behavioral Research, New York, Van Nostrand Reinhold Company.

BERTOLO, Louis. Les Documents d'Application du Nouveau règlement Thermique des Batiments Neufs d'Habitation. Paris, CSTB, sd.

\_\_\_\_\_ (1992) Conservation de l'Énergie dans les Batiments Residentiels: Le cas de la France. In: Séminaire THERMIE, Milan, 24-25 septembre.

BLANCO, Emilio Andrea. Métodos de Diagnóstico - Programa D.E.C.O. (Diagnosticos Energeticos en La Construccin). Madrid, IDAE - Instituto Para La Diversificacion Y Ahorro de La Energia, s.d.mimeo.

BLUME. Hermann (1984). La Casa Passiva - Clima e Desenvolvimento Energético. Madrid, Unigraf. S.A., 1984, 173 p.

BOILEAL, Yves (1993). Energy Efficiency Buildings in France. In: European Directory of Energy Efficiency Building 1993. London, James & James Science Publishers Limited, 1993, p.150-152.

BRASIL - Ministério da Agricultura e Reforma Agrária - Secretaria Nacional de Irrigação - Departamento Nacional de Meteorologia (1990). Normas Climatológicas 12961-1990. Brasília, Departamento Nacional de Meteorologia.

BRASIL - MME - Ministério das Minas e Energia (1994). Balço Energético Nacional - Ano Base 1993. Brasília, D.F.

CAMELO, Susana Maria Lasbarrères. (1995). Estudo do Comportamento Térmico de Edifícios em Portugal no Período de Verão. Lisboa, IST. (Dissertação de mestrado).

COSTA, E. C. Arquitetura Ecológica – condicionamento térmico natural. Editora Edgard Blucher, 1985.

CCE - Centro para a conservação de Energia (1991). Métodos e Regras para a Elaboração de Auditorias Energéticas - Planos de Racionalização - Relatórios de Progresso Anual no Setor Terciário. Lisboa, Ministério da Indústria e Energia, mimeo.

CEE - Comunidade Económica Européia (1993). Energy Conscious Design - A Primer for Architects. London, B.T..Batsford Ltd, 135 p.

CEC - Commission of the European Communities (1986). European Passive Solar Handbook. P. 3-18.

CHOI, U.S. et alli. (1984). The impact of Daylighting on Peak Electrical Demand. Lausanne, 1984. In: Energy in Buildings, 6- 343-352.

CLARKE, J.A; HAND, Jon; STRACHAN, Paul (1993). ESP-r Training Course. Strathclyde, ESRU - Energy Simulation Research Unit, 12-14 February.

CLARKE, J.A; IRVING, A.D.(1988). Building Energy Simulation: An Introduction. Lausanne, Elsevier Sequoia S.A. In: Energy and Buildings, 10- 157-159.

CORONA, Eduardo; LEMOS, Carlos. (1989) Dicionário da Arquitetura. São Paulo, PINI - 2<sup>a</sup>. Edição.

COURTNEY, Roger G. (1976) Energy Conservation in the Built Environment. Lancaster Great Britain, The Construction Press Ltd.

CROWTHER, R. L. Ecologic Architecture. Butterworth – Heinemann, USA, 1992.

CSOPT - Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes (1984) Regras de Qualidade Térmica de Edifícios. Lisboa.

DANIELS, K. The Tecnology of Ecological Building – Basic Principles and Measures, Examples and Ideas. Birkhauser Verlag, 1997.

DEL CARLO, Ualfrido; ROMÉRO, Marcelo de Andrade.(1992) Arquitetura Racional Economiza Energia. In: Jornal do Brasil. (Depoimento). Rio de Janeiro, Jornal do Brasil; 23-3-92, pg.3.

DEL CARLO, Ualfrido (responsável) MOTTA, Caio Fábio Attadia da (coordenador). (1975) Nível de satisfação em conjuntos habitacionais da Grande São Paulo. São Paulo, IPT.

ELETROBRÁS - PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. (1996) Boletim, Rio de Janeiro, Ano IX, janeiro de 1996, nº.38, p.1.

ELETROBRÁS (1988) Programa de Desenvolvimento Tecnológico. Panorama do Setor de Energia Elétrica no Brasil. Rio de Janeiro, Imprinta Gráfica e Editora Ltda, 333 p.

ELETROBRÁS - PROCEL (1996) Eficiência Energética em Edificações: Estado da Arte. Rio de Janeiro, mimeo.

ELETROPAULO/CESP/CPFL/CONGÁS(1983). Manual de Instalação Elétrica. São Paulo, 45 p.

ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.(1995) Qualidade e tecnologia na habitação. Rio de Janeiro, Anais ANTAC. V1 e v2.

FERREIRA, A. Buarque de Holanda. (1964) Pequeno Dicionário da Língua Portuguesa. Rio de Janeiro, Editora Nova Fronteira, 676 p.

FROTA, Anésia Barros; Schiffer, Sueli Ramos (1988). Manual de Conforto Térmico. São Paulo, Editora Nobel, 228 p.

GASPERINI, Gian Carlo.(1987). Contexto e Tecnologia. São Paulo, FAUUSP, mimeo, 237p.(tese de livre-docência)

GELLER, H.(1994). O uso eficiente de eletricidade: Uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil. Rio de Janeiro, PROCEL/ACE<sup>3</sup>, 226P.

GOLDEMBERG, José.(1979) Energia no Brasil. São Paulo. Livros Técnicos e Científicos. Editora S/A.

GOLDEMBERG, José; et al (1988). Energy for a Sustainable World. New Delhi, Wiley Eastern, 517 p.

GOLDEMBERG, José; CARVALHO, Joaquim. (1980). Economia e Política de Energia. Rio de Janeiro, Livraria José Olympio Editora, 118 p.

GONÇALVES, Helder Perdigão. (1992) Os consumos energéticos nos edifícios, seu comportamento térmico, a nova regulamentação térmica, o RCCTE e o RQSECE. Lisboa, Nov-92. Mimeo: INET/DER.

HERZOG, T. Solar Energy in Architecture and Urban Planning. Prestel, Munich, 1996.

HUNTV.Daniel.(1977) Energy Dictionary. New York, Van Nostrand Reinhold Company.

IM e LNEC. Temperaturas Exteriores de Projeto e Números de Graus-dia. Lisboa, 1995.

IZARD, Jean - Louis e GUYOT, Alain. (1983). Arquitetura bioclimática. México, D.F. Gustavo Gili, 191p.

JWCA - Jorge Wilhelm Consultores Associados (1988). Consumo de Energia nos Setores de Comércio e Serviços. São paulo, CESP - PROCEL, 72p., mimeo.

KOENIGSBERGER, O.H. et alli. (1977). Vivendas y edificios en zonas cálidas y tropicales. Madrid, Paraninfo S.A., 328p.

KONYA, A. DesignPrimer for Hot Climates. Architectural Press, London, 1980.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. PW Editores, São Paulo, 1997.

LA ROVERE, Emilio Libre et alli. (1985). Economia e Tecnologia da Energia. Rio de Janeiro, Editora Marco Zero/FINEP. 588 p.

LAVIGNE, Pierre (en collaboration avec Paul Brejon et Pierre Fernandez)(1994). Architecture Climatique - Une Contribution au Développement Durable. France, 191p.

LEITE, Brenda Chaves C. Procedimentos para Análise da Eficiência Luminosa e Consumo de Energia Elétrica em Edifícios de Escritórios. São Paulo. In: Compêndio dos trabalhos apresentados no evento NUTAU-96 - Painel sobre Conservação de Energia, FAUUSP, 1996.

LEWIS, H. R. Principles of Human Physiology. Editora London, 1968.

MAGNOLI, D., ARAUJO, R. Geografia – Paisagem e Território. Editora Moderna, 1993

MASCARÓ, Juan Luis.(1981) Consumo de Energia e Construção de Edifícios. São Paulo, SECOVI, mimeo.

MASCARÓ, Juan Luís. (1985) O custo das decisões arquitetônicas. São Paulo, Editora Nobel, 100 p.

MASCARÓ, Juan Luis; MASCARÓ, Lúcia Elvira Raffo. (1983) Incidência da Variáveis Projetivas e de Construção no Consumo Energético dos Edifícios. Porto Alegre, MIC?UFRGS, mimeo.

\_\_\_\_\_ (1980) A Construção na Economia Nacional. São Paulo, Pini, 112 p.

\_\_\_\_\_ (1991) Uso Racional de Energia Elétrica em Edificações - Iluminação. São Paulo, Agência para Aplicação de Energia, 35 p.

\_\_\_\_\_ Uso Racional de Energia em Edificações. Isolamento Térmico. São Paulo. Agência para Aplicação de Energia, s.d. 51.p.

MASCARÓ, Lúcia Raffo de. Iluminação Natural nos Edifícios, São Paulo, FAUUSP, s.d., mimeo, (Apostila didática)

MASCARÓ, Lúcia Raffo de; MASCARÓ, Juan. (1989). Potencial de Conservação de Energia nas Edificações. In: Anais do Simpósio Nacional de Conservação de Energia nas Edificações. São Paulo. EPUSP-CIVIL. Pg. 13-17.

MAHONEY, Método de Determinação do rigor climático. In; MASCARÓ, Lúcia R. de. (1995). Energia na Edificação. São Paulo, Editora Projeto, p. 128.

MEIER, G. L. Tropenbau – Building in the Tropics. Callwey, Munchen, 1969.

MISKUNAGA, L Arquitetura, Clima e Iluminação. Monografia. Orientadora Lúcia E. A . R. de Mascaro. FAU – USP, 1979.

NEUTRA, R. Survival Through Design. Oxford University Press, 1954.

NUTAU'96. (1997). Conservação de Energia nas Edificações. São Paulo, FAUUSP/NUTAU/FUPAM, mimeo (Compêndio dos trabalhos apresentados no painel Conservação de Energia nas Edificações)

NUTAU. Procedimentos Metodológicos para Aplicação da Avaliação Pós-Ocupação em Conjuntos Habitacionais: do Desenho Urbano à Unidade Habitacional. Vols. I, III e IV. 1999.

OGATA, A. Arquitetura e Clima. Monografia, FAU – USP, 1979.

OLGYAY, V. Design with Climate. New Jersey, Priceton University, 1963.

OLGYAY, V. OLGAYAY, A. solar Control and Shading Devices. New Jersey, Priceton University, 1957.

ORNSTEIN, Sheila Walbe. (1997) Avaliação Pós-Ocupação (APO) no Brasil: Estado da Arte, Desenvolvimento e Necessidades Futuras. In: Anais do NUTAU - Seminário Internacional "Tecnologia, Arquiteutura e Urbanismo", FAUUSP/NUTAU/FUPAM.

ORNSTEIN, Sheila; BRUNA, Gilda; ROMÉRO, Marcelo.(1995) Ambiente Construído & Comportamento. São Paulo, Studio Nobel/FAUUSP/FUPAM, 212p.

OUDEN, C. Den. (1993) Energy Efficiency Buildings in the Netherlands. In: European Directory of Energy Efficiency Building 1993.London, James & James Science Publishers Limited, 1993, p.160.

PEARSON, D. The Natural House Book. Simon and Schuster, 1989.

PHILIPS. Tabela Internacional de Iluminação. Philips do Brasil. S.A. s.d.

PHILIPS. (1975) Manual de Iluminação. Philips do brasil. S.A. s.d.

PHILIPS. (1990) Manual Pirelli de Instalações Elétricas. São Paulo, PINI, 76p.

PROCEL/ABILUX/AAE. (1991). Uso Racional de Energia Elétrica em Edificação: Iluminação. São Paulo, 35 p.

PUPPO, Ernesto: PUPPO, Giorgio Alberto. (1972). Acondicionamento Natural Y Arquitectura. Barcelona, Marcombo S.A.,206p.

RCCTE - Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (1992) - Manual de Verificação do Programa. Lisboa, INETI.

RIVERO, Roberto. (1986). Acondicionamento Térmico Natural - Arquitetura e Clima. Porto Alegre, livraria Universitária. 239 p.

ROIZENBLATT, Isac. (1989). Desempenho dos Equipamentos de Iluminação e Conservação de Energia. In: Anais do Simpósio Nacional de Conservação de Energia nas Edificações. São Paulo. EPUSP-CIVIL. Pg. 127-133.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade; SHALDERS NETO, Armando (1991) Normalização e Consumo de Energia Elétrica no Setor de Comércio e Serviços. In: Anais do 2º

Congresso Internacional de Normalização e Qualidade. São Paulo, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 11 a 13 de dezembro de 1991. 523 p.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade; Legislação Energética em Edifícios: A Análise do Caso de Portugal. Cadernos Técnicos do AUT nº5, 1998.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade; Diagnóstico e Avaliação Energética e Comportamental – Edifício Birmann 21. NUTAL, FAU-USP, São Paulo, 1999.

ROMÉRO, M. A.; GONÇALVES, H. As Energias Renováveis no Novo Milênio – NUTAU'2000. São Paulo, 2000.

ROMÉRO, M. A.; JOHN, V. M. Insumos para a Avaliação Técnica do Jardim São Luiz. FAU-USP, São Paulo, 1997.

SCARAZZATO, Paulo Sérgio. (1987). Investigação sobre critérios para determinação e medição dos níveis de conforto térmico. São Paulo, FAUUSP, 163 p. (Dissertação de mestrado apresentada a FAUUSP).

SERRA, Geraldo Gomes. (1989). Conservação de energia e forma arquitetônica. In: Anais do Simpósio Nacional de Conservação de Energia nas Edificações. São paulo, EPUSP-CIVIL, p. 175-185.

SOM - Skidmore, Owings & Merrill. (1983). Architecture and Urbanism. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 393p.

STITT, F. A. Ecological Design Handbook – Sustainable Strategies for Architecture, Interior Design, and Planning. McGraw-Hill, 1999.

VÁRIOS AUTORES. Centro de Espacio Subterráneo de la Universidad de Minnesota. Terra y Cobijo – Diseño de Casas Semienterradas. Editorial Gustavo Gilli, Barcelona, 1980.

WAGNER, W. F., Jr; AIA. **Energy – Efficient Building**. McGraw-Hill Book Co., 1980.

WAGNER, W. F., Jr; Great Houses. Architectural Record, New York, 1976.

WAGNER, W. F., Jr; Houses Architects Design for Themselves. Architectural Record, New York, 1974.

WANN, D. BioLogic. Johnson Books, 1990.

WATSON, D.; FAIA; KENNETH LABS. Climatic Design. McGraw-Hill Inc., 1983.

WECLER, V. 84 Plantas Das Mais Belas Casas. Nemus

WILD, F. Casas Unifamiliares Aisladas. Gustavo Gilli, Barcelona, 1976.

WILLS, R. B. Houses for Good Living. Architectural Book Publishing Co., New York, 1946.

WINKELMANN, Frederick.(1988) Advances in Buildings Energy Simulation in North America. Lausanne, Elsevier Sequoia S.A., In: Energy and Buildings, 10(1988) 161-173.

WRIGHT, D.; AIA. Natural Solar Architecture: The Passive Solar Prime. Van Nostrand Reinhold Co., 1984.

WRIGHT, F. L. Frank Lloyd Wright Selected Houses 7. ADA Edita, Tokyo, 1991.

WRIGHT, F. L. The Natural House. Horizon Press, 1954.

YORK, F. R. S. The Modern house. The Architectural Press, London, 1948.  
Almanaque Abril 1997.

## 1. Anexos

### 1.1. Cálculos Auxiliares

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Situação original

#### Folha de cálculo 1a

Devido às envolventes opacas exteriores:

1) Perdas pela parede:

paredes	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
nordeste	50,88 x	2,438 x	1,5 =	186,07
noroeste	0 x	0 x	1,5 =	0,00
noroeste	66,55 x	2,438 x	1,5 =	243,37
sudoeste	36,16 x	2,438 x	1,5 =	132,24
sudoeste	0 x	0 x	1,5 =	0,00
sudeste	11,96 x	2,438 x	1,5 =	43,74
sudeste	0 x	0 x	1,5 =	0,00
			total =	605,42
				605,42

2) Perdas pelas coberturas:

coberturas	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)	+
	x	x	=		
	x	x	=		
	x	x	=		
	x	x	=		
			total =	0,00	0,00

3) perdas pelos pavimentos:

pavimentos	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)	+
	x	x	=		
	x	x	=		
	x	x	=		
	x	x	=		
			total =	0,00	0,00

=

Total da envolvente opaca exterior (para FC 1):

605,42

(W/°C)

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Situação original

**Folha de cálculo 1b**

Devido às envolventes interiores (\*):

	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
paredes				
	205,2 x	1,8 x	1,5 =	554,04
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
coberturas				
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
envidraçados				
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
pavimentos				
	x	x	=	
	x	x	=	
			total =	554,04

x

0,75

=

Total da envolvente interior (para FC 1):

415,53

(W/°C)

(\* ) Englobam-se aqui as paredes que separam o espaço útil dos armazéns, garagens, escadas e outras circulações comuns exteriores à zona independente do edifício.

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Situação original

**Folha de cálculo 1c**

Devido aos envidraçados:

tipo de envidr.	A (m <sup>2</sup> )		K (W/m <sup>2</sup> °C)	=	total (W/°C)
sudoeste	35,61	x	4,8	=	170,93
nordeste	76,31	x	4,8	=	366,29
sudeste	130,63	x	4,8	=	627,02
noroeste	63,53	x	4,8	=	304,94
			total	=	1469,18

Total de perdas pelos envidraçados (para FC 1): 1469,18 (W/°C)

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Situação original

**Folha de cálculo 1d**

Devido à renovação do ar:

área útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1181,00</span>
	x
pé-direito médio (m)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2,75</span>
	x
taxa de renovação nominal	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1,00</span>
	x
	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,34</span>
	=
Total de perdas por renovação do ar (p/ FC 1)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1104,24</span> (W/°C)

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Situação original

**Folha de cálculo 1e**

Ganhos solares úteis:

orientação	tipo de envid.	A (m <sup>2</sup> )	Sv	$\phi$	f	Aequiv
N		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
NW		63,53 x	0,54 x	1,00 x	0,90 =	30,88
		x	x	x	=	
W		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
SW		35,61 x	0,54 x	1,00 x	0,50 =	9,61
		x	x	x	=	
S		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
SE		130,63 x	0,54 x	1,00 x	0,50 =	35,27
		x	x	x	=	
E		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
NE		76,31 x	0,54 x	1,00 x	0,90 =	37,09
		x	x	x	=	
horizontal		x	x	x	=	
		x	x	x	=	

=

área total equivalente de vidro a norte (m<sup>2</sup>)

112,85

x

energia solar média incidente (KWh/m<sup>2</sup>ano)

80,00

=

ganhos solares brutos (KWh/ano)

9027,76

x

fator de utilização dos ganhos solares ( $\eta$ )

0,95

=

ganhos solares úteis

8576,38

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Situação original

**Cálculo do  $\eta$**

$$\eta = 1 - \exp \{-K / GLR\}$$

K	Inércia
0,7	I fraca
1	I média
1,3	I pesada

$$GLR = G_{brutos} / N_{brutas}$$

$$GLR = \frac{9027,76}{43132,38} = 0,21$$

$$\eta = 0,95$$

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Situação original

**Folha de cálculo 1**

	necessidades reais de aquecimento (W/°C)
envolvente opaca ext. (FC 1a)	605,42
envolvente interior (FC 1b)	415,53
envidraçados (FC 1c)	1469,18
renovação do ar (FC 1d)	1104,24
total:	3594,37

Graus-dia de aquecimento na base 18°:  
(para a zona climática correspondente)

Necessidades brutas de aquecimento:  
(para cálculo do fator de utilização dos ganhos solares)  
Ganhos solares úteis (FC 1e):

NAu = necessidades de energia útil para a est. de aquecimento

$$\begin{aligned} & 3594,37 \\ & \times \\ & 500,00 \\ & \times \\ & 0,024 \\ & = \\ & 43132,38 \text{ (KWh/ano)} \\ & - \\ & 8576,38 \text{ (KWh/ano)} \\ & = \\ & 34556,01 \text{ (KWh/ano)} \end{aligned}$$

$$NA = N_{Au} / A_p = \frac{34556,01}{1181,00} = 29,26 \text{ (KWh/m}^2\text{ano)}$$

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas de referência para a estação de aquecimento (N<sub>Aref</sub>)

Situação original

**Folha de cálculo 2**

Valores para o coeficiente de transmissão térmica de referência:

		z. de aquec.	
K <sub>vref</sub>		1,4	
K <sub>href</sub>		1,1	
K <sub>eref</sub>	(a)	4,2	(a) zonas de edifício com ocupação noturna
	(b)	5,8	(b) zonas de edifícios de ocupação diurna predominante

$$\begin{array}{rcl}
 A_v \text{ (m}^2\text{)} & = & \boxed{370,75} \\
 A_h \text{ (m}^2\text{)} & = & \boxed{0} \\
 A_e \text{ (m}^2\text{)} & = & \boxed{177,15}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{rcl}
 K_{vref} & = & \boxed{1,4} * 1,3 = \boxed{674,77} \\
 K_{href} & = & \boxed{1,1} \\
 K_{eref} & = & \boxed{4,2}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 + \\
 \boxed{0,00} \\
 + \\
 \boxed{744,03} \\
 = \\
 \boxed{1418,80} \\
 / \\
 \boxed{1181,00} \\
 = \\
 \boxed{1,20} \\
 + \\
 0,34 * \boxed{2,7} = \boxed{0,92} \\
 = \\
 \boxed{2,12} \\
 * \\
 0,024 * \boxed{500} = \boxed{12,00} \\
 = \\
 N_{Aref} = \boxed{25,43} \text{ (KWh/m}^2\text{°C)}
 \end{array}$$

Obs.: se  $A_e > 0,15A_p$ , então, usar  $A_e = 0,15A_p$

$$A_{emax} \text{ (m}^2\text{)} = 0,15A_p$$

Verificação da satisfação das exigências do regulamento:

$$\boxed{29,26} \text{ NA} < \text{ ou } = \boxed{25,43} \text{ N}_{Aref} \quad \text{reprovado}$$

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de resfriamento (NR)

Situação original

**Folha de cálculo 3**

Devido à transmissão de calor através das envolventes:

envidraç.	orientação	A (m <sup>2</sup> )		φ		Sv		Gi (kWh/m <sup>2</sup> )			ganho (KWh)	
	N		x		x		x			=		
			x		x		x			=		
	NW	63,53	x	1,00	x	0,22	x	28,60		=	399,73	
			x		x		x			=		
	W		x		x		x			=		
			x		x		x			=		
	SW	35,61	x	1,00	x	0,22	x	33,00		=	258,53	
			x		x		x			=		
	S		x		x		x			=		
			x		x		x			=		
	SE	130,63	x	1,00	x	0,22	x	33,00		=	948,37	
			x		x		x			=		
	E		x		x		x			=		
			x		x		x			=		
			x		x		x			=		
	NE	76,31	x	1,00	x	0,22	x	28,60		=	480,14	
			x		x		x			=		
	horizontal		x		x		x			=		
			x		x		x			=		
paredes	orientação	A (m <sup>2</sup> )		fc		K (W/m <sup>2</sup> °C)		ΔTe (KWh°C/W)			ganho (KWh)	
	nordeste	50,88	x	1,50	x	2,44	x	9,50	x	0,36	=	636,35
	noroeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	0,00	x	0,36	=	0,00
	noroeste	66,55	x	1,50	x	2,44	x	9,50	x	0,36	=	833,02
	sudoeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	0,00	x	0,36	=	0,00
	sudoeste	36,16	x	1,50	x	2,44	x	9,50	x	0,36	=	452,62
	sudeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	0,00	x	0,36	=	0,00
	sudeste	11,96	x	1,50	x	2,44	x	9,50	x	0,36	=	149,71
	interna	201,20	x	1,50	x	1,80	x	9,50	x	0,36	=	1857,87
			x		x		x		x	0,36	=	
coberturas	orientação	A (m <sup>2</sup> )		fc		K (W/m <sup>2</sup> °C)		ΔTe (KWh°C/W)			ganho (KWh)	
			x		x		x		x	0,36	=	
			x		x		x		x	0,36	=	
			x		x		x		x	0,36	=	
			x		x		x		x	0,36	=	
total											=	6016,35

fator de inércia	fraca	=	1,2	x	
	média	=	1	x	1,20
	pesada	=	0,9	x	
duração média em meses da estação de resfriamento				x	2,50
				=	
necessidades globais (KWh/ ano)					18049,04
NR = nec. globais/Ap		=	18049,04	=	15,28
			1181		KWh/m <sup>2</sup> ano

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas de referência para a estação de resfriamento (NR<sub>ref</sub>)

Situação original

**Folha de cálculo 4**

Valores para o coeficiente de transmissão térmica de referência:

	z. de resfr.	
K <sub>vref</sub>	1,4	
K <sub>href</sub>	1,1	
K <sub>eref</sub>	4,2	(a) zonas de edifício com ocupação noturna
	5,8	(b) zonas de edifícios de ocupação diurna predominante

Ganhos solares de referência pelos envidraçados e diferença efetiva de temperatura de referência

	classe de inércia	z. de resfr.
G <sub>ref</sub> (KWh/m <sup>2</sup> mês)	fraca	6,5
	média	16
	pesada	17,5
ΔT <sub>vref</sub>	todas	7,5
ΔT <sub>href</sub>		4

	A (m <sup>2</sup> )	K <sub>ref</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔT <sub>eref</sub> (°C)		
vertical opaco	165,55	1,4	7,5	x 1,3	= 2259,76
vert. interna	201,199	1,26	7,5	x 1,3	= 2471,73

Obs.: se A<sub>e</sub> > 0,15A<sub>p</sub>, então, usar A<sub>e</sub> = 0,15A<sub>p</sub>

A<sub>emax</sub> (m<sup>2</sup>) = 0,15A<sub>p</sub>

A <sub>e</sub> (m <sup>2</sup> )	x	G <sub>ref</sub>		=	1151,48
				=	2854,81
				x	M = 2,50
				=	N <sub>Gref</sub> = 7137,03

NR<sub>ref</sub> =  $\frac{N_{Gref}}{A_p}$  =  $\frac{7137,03}{1181}$  = 6,04

Verificação da satisfação das exigências do regulamento:

NR ≤ NR <sub>ref</sub>	
15,28	6,04

**reprovado**

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Camada de 3cm de lã de rocha como isolamento térmico

**Folha de cálculo 1a**

Devido às envolventes opacas exteriores:

1) Perdas pela parede:

paredes	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
nordeste	50,88 x	0,848 x	2 =	86,29
noroeste	0 x	0 x	0 =	0,00
noroeste	66,55 x	0,848 x	2 =	112,87
sudoeste	36,16 x	0,848 x	2 =	61,33
sudoeste	0 x	0 x	0 =	0,00
sudeste	11,96 x	0,848 x	2 =	20,28
sudeste	0 x	0 x	0 =	0,00
total =				280,77

2) Perdas pelas coberturas:

coberturas	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
total =				0,00

3) perdas pelos pavimentos:

pavimentos	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
total =				0,00

=

Total da envolvente opaca exterior (para FC 1):

280,77
--------

  
 (W/°C)

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Camada de 3cm de lã de rocha como isolamento térmico

**Folha de cálculo 1b**

Devido às envolventes interiores (\*):

	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
paredes				
	205,2 x	1,8 x	2 =	738,72
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
coberturas				
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
envidraçados				
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
pavimentos				
	x	x	=	
	x	x	=	
			total =	738,72

x

0,75

=

Total da envolvente interior (para FC 1):

554,04 (W/°C)

(\*) Englobam-se aqui as paredes que separam o espaço útil dos armazéns, garagens, escadas e outras circulações comuns exteriores à zona independente do edifício.

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Camada de 3cm de lã de rocha como isolamento térmico

**Folha de cálculo 1c**

Devido aos envidraçados:

tipo de envidr.	A (m <sup>2</sup> )		K (W/m <sup>2</sup> °C)		total (W/°C)
sudoeste	35,61	x	4,8	=	170,93
nordeste	76,31	x	4,8	=	366,29
sudeste	130,63	x	4,8	=	627,02
noroeste	63,53	x	4,8	=	304,94
			total	=	1469,18

Total de perdas pelos envidraçados (para FC 1):  (W/°C)

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Camada de 3cm de lã de rocha como isolamento térmico

**Folha de cálculo 1d**

Devido à renovação do ar:

área útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	<input type="text" value="1181,00"/>
	x
pé-direito médio (m)	<input type="text" value="2,75"/>
	x
taxa de renovação nominal	<input type="text" value="1,00"/>
	x
	<input type="text" value="0,34"/>
	=

Total de perdas por renovação do ar  (W/°C)  
(p/ FC 1)

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Camada de 3cm de lã de rocha como isolamento térmico

**Folha de cálculo 1e**

Ganhos solares úteis:

orientação	tipo de envid.	A (m <sup>2</sup> )	Sv	$\phi$	f	Aequiv
N		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
NW		63,53 x	0,54 x	1,00 x	0,90 =	30,88
		x	x	x	=	
W		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
SW		35,61 x	0,54 x	1,00 x	0,50 =	9,61
		x	x	x	=	
S		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
SE		130,63 x	0,54 x	1,00 x	0,50 =	35,27
		x	x	x	=	
E		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
NE		76,31 x	0,54 x	1,00 x	0,90 =	37,09
		x	x	x	=	
horizontal		x	x	x	=	
		x	x	x	=	

	=
área total equivalente de vidro a norte (m <sup>2</sup> )	112,85
	x
energia solar média incidente (KWh/m <sup>2</sup> ano)	80,00
	=
ganhos solares brutos (KWh/ano)	9027,76
	x
fator de utilização dos ganhos solares ( $\eta$ )	0,95
	=
ganhos solares úteis	8576,38

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)  
 Camada de 3cm de lã de rocha como isolamento térmico

**Cálculo do  $\eta$**

$\eta = 1 - \exp \{-K / GLR\}$

K	inércia
0,7	I fraca
1	I média
1,3	I pesada

GLR = Gbrutos / N brutas

GLR =  $\frac{9027,76}{40898,78} = 0,22$

$\eta = 0,95$

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)  
 Camada de 3cm de lã de rocha como isolamento térmico

**Folha de cálculo 1**

	necessidades reais de aquecimento (W/°C)
envolvente opaca ext. (FC 1a)	280,77
envolvente interior (FC 1b)	554,04
envidraçados (FC 1c)	1469,18
renovação do ar (FC 1d)	1104,24
total:	3408,23

$3408,23$

x

$500,00$

x

$0,024$

=

$40898,78$  (KWh/ano)

-

$8576,38$  (KWh/ano)

=

$32322,41$  (KWh/ano)

Graus-dia de aquecimento na base 18°:  
 (para a zona climática correspondente)

Necessidades brutas de aquecimento:  
 (para cálculo do fator de utilização dos ganhos solares)

Ganhos solares úteis (FC 1e):

NAu = necessidades de energia útil para a est. de aquecimento

$NA = NAu / Ap = \frac{32322,41}{1181,00} = 27,37$  (KWh/m<sup>2</sup>ano)

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas de referência para a estação de aquecimento (N<sub>Aref</sub>)

Camada de 3cm de lã de rocha como isolamento térmico

**Folha de cálculo 2**

Valores para o coeficiente de transmissão térmica de referência:

		z. de aquec.	
K <sub>vref</sub>		1,4	
K <sub>href</sub>		1,1	
K <sub>eref</sub>	(a)	4,2	(a) zonas de edifício com ocupação noturna
	(b)	5,8	(b) zonas de edifícios de ocupação diurna predominante

$$\begin{aligned}
 A_v \text{ (m}^2\text{)} &= 370,75 & K_{vref} &= 1,4 * 1,3 = 674,77 \\
 A_h \text{ (m}^2\text{)} &= 0 & K_{href} &= 1,1 & & + & & 0,00 \\
 A_e \text{ (m}^2\text{)} &= 177,15 & K_{eref} &= 4,2 & & + & & 744,03 \\
 & & & & & = & & 1418,80 \\
 \text{Obs.: se } A_e > 0,15A_p, \text{ então, usar } A_e &= 0,15A_p & & & & / & & 1181,00 \\
 A_{e\max} \text{ (m}^2\text{)} &= 0,15A_p & & & & = & & 1,20 \\
 & & & & & + & & 0,92 \\
 0,34 * \frac{Pd}{2,7} &= & & & & = & & 2,12 \\
 & & & & & * & & 12,00 \\
 0,024 * \frac{GD}{500} &= & & & & = & & 25,43 \\
 N_{Aref} &= & & & & & & \text{(KWh/m}^2\text{°C)}
 \end{aligned}$$

Verificação da satisfação das exigências do regulamento:

$$\frac{N_A}{27,37} < \text{OU} = \frac{N_{Aref}}{25,43} \quad \text{reprovado}$$

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de resfriamento (NR)

Camada de 3cm de lã de rocha como isolamento térmico e 30% de obstrução em todas as fachas (brises)

**Folha de cálculo 3**

Devido à transmissão de calor através das envolventes:

envidraç.	orientação	A (m <sup>2</sup> )		φ		Sv		Gi (KWh/m <sup>2</sup> )		ganho (KWh)	
	N		x		x		x		=		
			x		x		x		=		
	NW	63,53	x	1,00	x	0,22	x	28,60	=	399,73	
				x		x		x		=	
	W		x		x		x		=		
				x		x		x		=	
	SW	35,61	x	1,00	x	0,22	x	33,00	=	258,53	
				x		x		x		=	
	S		x		x		x		=		
				x		x		x		=	
	SE	130,63	x	0,70	x	0,22	x	33,00	=	663,86	
				x		x		x		=	
	E		x		x		x		=		
				x		x		x		=	
	NE	76,31	x	1,00	x	0,22	x	28,60	=	480,14	
				x		x		x		=	
	horizontal		x		x		x		=		
				x		x		x		=	
paredes	orientação	A (m <sup>2</sup> )		fc		K (W/m <sup>2</sup> °C)		ΔTe (KWh°C/W)		ganho (KWh)	
	nordeste	50,88	x	2,00	x	0,84	x	7,00	x	0,36	= 215,41
	noroeste	0,00	x	0,00	x	0,00	x	0,00	x	0,36	= 0,00
	noroeste	66,55	x	2,00	x	0,84	x	7,00	x	0,36	= 281,75
	sudoeste	0,00	x	0,00	x	0,00	x	0,00	x	0,36	= 0,00
	sudoeste	36,16	x	2,00	x	0,84	x	7,00	x	0,36	= 153,09
	sudeste	0,00	x	0,00	x	0,00	x	0,00	x	0,36	= 0,00
	sudeste	11,96	x	2,00	x	0,84	x	7,00	x	0,36	= 50,63
	interna	205,20	x	1,50	x	1,80	x	7,00	x	0,36	= 1396,18
			x		x		x		x	0,36	=
coberturas	orientação	A (m <sup>2</sup> )		fc		K (W/m <sup>2</sup> °C)		ΔTe (KWh°C/W)		ganho (KWh)	
			x		x		x		x	0,36	=
			x		x		x		x	0,36	=
			x		x		x		x	0,36	=
			x		x		x		x	0,36	=
total										= 3899,32	

fator de inércia	fracas	=	1,2	x	
	médias	=	1	x	1,00
	pesadas	=	0,9	x	
duração média em meses da estação de resfriamento				x	2,50
necessidades globais (KWh/ ano)				=	9748,29
NR = nec. globais/Ap		=	9748,29	=	8,25
			1181		KWh/m <sup>2</sup> ano

**BIRMANN 21**

Cálculo das necessidades energéticas de referência para a estação de resfriamento (NR<sub>ref</sub>)

Camada de 3cm de lã de rocha como isolamento térmico e 30% de obstrução (brises) na fachada SE.

**Folha de cálculo 4**

Valores para o coeficiente de transmissão térmica de referência:

	z. de resfr.	
K <sub>vref</sub>	1,4	
K <sub>href</sub>	1,1	
K <sub>eref</sub>	4,2	(a) zonas de edifício com ocupação noturna
	5,8	(b) zonas de edifícios de ocupação diurna predominante

Ganhos solares de referência pelos envidraçados e diferença efetiva de temperatura de referência

	classe de inércia	z. de resfr.
G <sub>ref</sub> (KWh/m <sup>2</sup> mês)	fraca	6,5
	média	16
	pesada	17,5
ΔT <sub>vref</sub>	todas	7,5
ΔT <sub>href</sub>		4

	A (m <sup>2</sup> )	K <sub>ref</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔT <sub>eref</sub> (°C)		
vertical opaco	165,55	1,4	7,5	x 1,3	= 2259,76
vert. interna	205,2	1,26	7,5	x 1,3	= 2520,88

Obs.: se A<sub>e</sub> > 0,15A<sub>p</sub>, então, usar A<sub>e</sub> = 0,15A<sub>p</sub>

A<sub>emax</sub> (m<sup>2</sup>) = 0,15A<sub>p</sub>

	=			
	4780,64			
	x			
	0,36			
	=			
	1721,03			
	+			
A <sub>e</sub> (m <sup>2</sup> )	x	G <sub>ref</sub>	=	2834,40
177,15		16		=
				4555,43
				x
			M	= 2,50
				=
			NG <sub>ref</sub>	= 11388,58

NR<sub>ref</sub> =  $\frac{NG_{ref}}{A_p}$  =  $\frac{11388,58}{1181}$  = 9,64

Verificação da satisfação das exigências do regulamento:

<b>NR ≤ NR<sub>ref</sub></b>		
<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">8,25</td> <td style="padding: 2px 10px;">9,64</td> </tr> </table> <b>APROVADO</b>	8,25	9,64
8,25	9,64	

## BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Com uma camada de 200mm de isolamento de Lã de Rocha

**Folha de cálculo 1a**

Devido às envolventes opacas exteriores:

1) Perdas pela parede:

paredes	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
nordeste	50,88 x	0,181 x	2 =	18,42
noroeste	0 x	0 x	0 =	0,00
noroeste	66,55 x	0,181 x	2 =	24,09
sudoeste	36,16 x	0,181 x	2 =	13,09
sudoeste	0 x	0 x	0 =	0,00
sudeste	11,96 x	0,181 x	2 =	4,33
sudeste	0 x	0 x	0 =	0,00
total =				59,93

2) Perdas pelas coberturas:

coberturas	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
total =				0,00

3) perdas pelos pavimentos:

pavimentos	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
total =				0,00

=

Total da envolvente opaca exterior (para FC 1): 59,93  
(W/°C)

## E. BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Com uma camada de 200mm de isolamento de Lã de Rocha

**Folha de cálculo 1b**

Devido às envolventes interiores (\*):

	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
paredes				
	205,2 x	1,8 x	2 =	738,72
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
coberturas				
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
envidraçados				
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
pavimentos				
	x	x	=	
	x	x	=	
			total =	738,72

x

0,75

=

Total da envolvente interior (para FC 1):

554,04 (W/°C)

(\*) Englobam-se aqui as paredes que separam o espaço útil dos armazéns, garagens, escadas e outras circulações comuns exteriores à zona independente do edifício.

## E. BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Com uma camada de 200mm de isolamento de Lã de Rocha

**Folha de cálculo 1c**

Devido aos envidraçados:

tipo de envidr.	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	total (W/°C)
sudoeste	35,61 x	4,8 =	170,93
nordeste	76,31 x	4,8 =	366,29
sudeste	130,63 x	4,8 =	627,02
noroeste	63,53 x	4,8 =	304,94
		total =	1469,18

Total de perdas pelos envidraçados (para FC 1): 1469,18 (W/°C)

## E. BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Com uma camada de 200mm de isolamento de Lã de Rocha

**Folha de cálculo 1d**

Devido à renovação do ar:

área útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1181,00</span>
	x
pé-direito médio (m)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2,75</span>
	x
taxa de renovação nominal	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1,00</span>
	x
	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,34</span>
	=
Total de perdas por renovação do ar (p/ FC 1)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1104,24</span> (W/°C)

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)  
Com uma camada de 200mm de isolamento de Lã de Rocha

**Folha de cálculo 1e**

Ganhos solares úteis:

orientação	tipo de envid.	A (m <sup>2</sup> )	Sv	$\phi$	f	Aequiv
N		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
NW		63,53 x	0,54 x	1,00 x	0,90 =	30,88
		x	x	x	=	
W		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
SW		35,61 x	0,54 x	1,00 x	0,50 =	9,61
		x	x	x	=	
S		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
SE		130,63 x	0,54 x	1,00 x	0,50 =	35,27
		x	x	x	=	
E		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
NE		76,31 x	0,54 x	1,00 x	0,90 =	37,09
		x	x	x	=	
horizontal		x	x	x	=	
		x	x	x	=	

	=
área total equivalente de vidro a norte (m <sup>2</sup> )	112,85
	x
energia solar média incidente (KWh/m <sup>2</sup> ano)	80,00
	=
ganhos solares brutos (KWh/ano)	9027,76
	x
fator de utilização dos ganhos solares ( $\eta$ )	0,95
	=
ganhos solares úteis	8576,38

## E. BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Com uma camada de 200mm de isolamento de Lã de Rocha

**Cálculo do  $\eta$** 

$$\eta = 1 - \exp \{-K / GLR\}$$

K	inércia
0,7	I fraca
1	I média
1,3	I pesada

$$GLR = G_{brutos} / N_{brutas}$$

$$GLR = \frac{9027,76}{38248,66} = 0,24$$

$$\eta = 0,95$$

## BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Com uma camada de 200mm de isolamento de Lã de Rocha

**Folha de cálculo 1**

	necessidades reais de aquecimento (W/°C)
envolvente opaca ext. (FC 1a)	59,93
envolvente interior (FC 1b)	554,04
envidraçados (FC 1c)	1469,18
renovação do ar (FC 1d)	1104,24
total:	3187,39

Graus-dia de aquecimento na base 18°:  
(para a zona climática correspondente)

Necessidades brutas de aquecimento:  
(para cálculo do fator de utilização dos ganhos solares)

Ganhos solares úteis (FC 1e):

NAu = necessidades de energia útil para a est. de aquecimento

3187,39

x

500,00

x

0,024

=

38248,66 (KWh/ano)

-

8576,38 (KWh/ano)

=

29672,28 (KWh/ano)

$$NA = NAu / A_p = \frac{29672,28}{1181,00} = 25,12 \text{ (KWh/m}^2\text{ano)}$$

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas de referência para a estação de aquecimento ( $N_{Aref}$ )

Com uma camada de 200mm de isolamento de Lã de Rocha

**Folha de cálculo 2**

Valores para o coeficiente de transmissão térmica de referência:

		z. de aquec.	
$K_{vref}$		1,4	
$K_{href}$		1,1	
$K_{eref}$	(a)	4,2	(a) zonas de edifício com ocupação noturna
	(b)	5,8	(b) zonas de edifícios de ocupação diurna predominante

$$\begin{array}{rcl}
 A_v \text{ (m}^2\text{)} & = & \boxed{370,75} \\
 A_h \text{ (m}^2\text{)} & = & \boxed{0} \\
 A_e \text{ (m}^2\text{)} & = & \boxed{177,15}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{rcl}
 K_{vref} & = & \boxed{1,4} * 1,3 = \boxed{674,77} \\
 K_{href} & = & \boxed{1,1} \\
 K_{eref} & = & \boxed{4,2}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 + \\
 \boxed{0,00} \\
 + \\
 \boxed{744,03} \\
 = \\
 \boxed{1418,80} \\
 / \\
 \boxed{1181,00} \\
 = \\
 \boxed{1,20} \\
 + \\
 0,34 * \boxed{2,7} = \boxed{0,92} \\
 = \\
 \boxed{2,12} \\
 * \\
 0,024 * \boxed{500} = \boxed{12,00} \\
 = \\
 N_{Aref} = \boxed{25,43} \text{ (KWh/m}^2\text{°C)}
 \end{array}$$

Obs.: se  $A_e > 0,15A_p$ , então, usar  $A_e = 0,15A_p$

$$A_{e\max} \text{ (m}^2\text{)} = 0,15A_p$$

Verificação da satisfação das exigências do regulamento:

$$\boxed{25,12} < \text{ ou } = \boxed{25,43} \quad \text{APROVADO}$$

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de resfriamento (NR)

Com uma camada de 200mm de isolamento de Lã de Rocha e

brise (obstrução de 50%) na face SE

**Folha de cálculo 3**

Devido à transmissão de calor através das envolventes:

envidraç.	orientação	A (m <sup>2</sup> )		φ		Sv		Gi (KWh/m <sup>2</sup> )		ganho (KWh)	
	N		x		x		x		=		
			x		x		x		=		
	NW	63,53	x	1,00	x	0,22	x	28,60	=	399,73	
				x		x		x		=	
	W		x		x		x		=		
				x		x		x		=	
	SW	35,61	x	1,00	x	0,22	x	33,00	=	258,53	
				x		x		x		=	
	S		x		x		x		=		
				x		x		x		=	
	SE	130,63	x	1,00	x	0,22	x	33,00	=	948,37	
				x		x		x		=	
	E		x		x		x		=		
				x		x		x		=	
	NE	76,31	x	0,50	x	0,22	x	28,60	=	240,07	
				x		x		x		=	
	horizontal		x		x		x		=		
				x		x		x		=	
paredes	orientação	A (m <sup>2</sup> )		fc		K (W/m <sup>2</sup> °C)		ΔTe (KWh°C/W)		ganho (KWh)	
	nordeste	50,88	x	2,00	x	0,18	x	7,00	x	0,36	= 46,41
	noroeste	0,00	x	0,00	x	0,00	x	0,00	x	0,36	= 0,00
	noroeste	66,55	x	2,00	x	0,18	x	7,00	x	0,36	= 60,71
	sudoeste	0,00	x	0,00	x	0,00	x	0,00	x	0,36	= 0,00
	sudoeste	36,16	x	2,00	x	0,18	x	7,00	x	0,36	= 32,99
	sudeste	0,00	x	0,00	x	0,00	x	0,00	x	0,36	= 0,00
	sudeste	11,96	x	2,00	x	0,18	x	7,00	x	0,36	= 10,91
	interna	205,20	x	1,50	x	1,80	x	7,00	x	0,36	= 1396,18
			x		x		x		x	0,36	=
coberturas	orientação	A (m <sup>2</sup> )		fc		K (W/m <sup>2</sup> °C)		ΔTe (KWh°C/W)		ganho (KWh)	
			x		x		x		x	0,36	=
			x		x		x		x	0,36	=
			x		x		x		x	0,36	=
			x		x		x		x	0,36	=
total										= 3393,91	

fator de inércia	fracas	=	1,2	x	
	médias	=	1	x	1,00
	pesadas	=	0,9	x	
duração média em meses da estação de resfriamento				x	2,50
					=
necessidades globais (KWh/ ano)					8484,77
					=
NR = nec. globais/Ap		=	8484,77		= 7,18
			1181		KWh/m <sup>2</sup> ano

E. BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas de referência para a estação de resfriamento (NRref)

Com uma camada de 200mm de isolamento de Lã de Rocha

**Folha de cálculo 4**

Valores para o coeficiente de transmissão térmica de referência:

	z. de resfr.	
Kvref	1,4	
Khref	1,1	
Keref	4,2	(a) zonas de edifício com ocupação noturna
	5,8	(b) zonas de edifícios de ocupação diurna predominante

Ganhos solares de referência pelos envidraçados e diferença efetiva de temperatura de referência

	classe de inércia	z. de resfr.
Gref (KWh/m2mês)	fraca	6,5
	média	16
	pesada	17,5
ΔT <sub>v</sub> ref	todas	7,5
ΔT <sub>h</sub> ref		4

	A (m2)	Kref (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔTeref (°C)		
vertical opaco	165,55	1,4	7,5	x 1,3	= 2259,76
vert. interna	205,2	1,26	7,5	x 1,3	= 2520,88

Obs.: se  $A_e > 0,15A_p$ , então, usar  $A_e = 0,15A_p$

$A_{e\max} (m^2) = 0,15A_p$

	=	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4780,64</span>
	x	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,36</span>
	=	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1721,03</span>
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">177,15</span> $A_e (m^2)$	x	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">16</span> Gref
	=	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2834,40</span>
	=	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4555,43</span>
	x	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2,50</span>
	=	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">11388,58</span>
	M =	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">11388,58</span>

$$NR_{ref} = \frac{NG_{ref}}{A_p} = \frac{11388,58}{1181} = 9,64$$

Verificação da satisfação das exigências do regulamento:

$NR \leq NR_{ref}$	
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">7,18</span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">9,64</span> <b>aprovado</b>

## BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Planta do edifício rotacionada 90° no sentido horário

## Folha de cálculo 1a

Devido às envolventes opacas exteriores:

1) Perdas pela parede:

paredes	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
nordeste	50,88 x	2,438 x	1,5 =	186,07
noroeste	0 x	0 x	1,5 =	0,00
noroeste	66,55 x	2,438 x	1,5 =	243,37
sudoeste	36,16 x	2,438 x	1,5 =	132,24
sudoeste	0 x	0 x	1,5 =	0,00
sudeste	11,96 x	2,438 x	1,5 =	43,74
sudeste	0 x	0 x	1,5 =	0,00
total =				605,42

605,42

2) Perdas pelas coberturas:

coberturas	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
total =				0,00

+

0,00

3) perdas pelos pavimentos:

pavimentos	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
total =				0,00

+

0,00

=

Total da envolvente opaca exterior (para FC 1):

605,42

(W/°C)

## BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Planta do edifício rotacionada 90° no sentido horário

**Folha de cálculo 1b**

Devido às envolventes interiores (\*):

	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
paredes				
	205,2	x 1,8	x 1,5	= 554,04
		x	x	=
		x	x	=
		x	x	=
coberturas				
		x	x	=
		x	x	=
		x	x	=
		x	x	=
envidraçados				
		x	x	=
		x	x	=
		x	x	=
		x	x	=
pavimentos				
		x	x	=
		x	x	=
			total	= 554,04

x

0,75

=

Total da envolvente interior (para FC 1):

415,53 (W/°C)

(\*) Englobam-se aqui as paredes que separam o espaço útil dos armazéns, garagens, escadas e outras circulações comuns exteriores à zona independente do edifício.

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Planta do edifício rotacionada 90° no sentido horário

**Folha de cálculo 1c**

Devido aos envidraçados:

tipo de envidr.	A (m <sup>2</sup> )		K (W/m <sup>2</sup> °C)		total (W/°C)
sudoeste	35,61	x	4,8	=	170,93
nordeste	76,31	x	4,8	=	366,29
sudeste	130,63	x	4,8	=	627,02
noroeste	63,53	x	4,8	=	304,94
			total	=	1469,18

Total de perdas pelos envidraçados (para FC 1): 1469,18 (W/°C)

**BIRMANN 21**

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Planta do edifício rotacionada 90° no sentido horário

**Folha de cálculo 1d**

Devido à renovação do ar:

área útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1181,00</span>
	x
pé-direito médio (m)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2,75</span>
	x
taxa de renovação nominal	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1,00</span>
	x
	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,34</span>
	=
Total de perdas por renovação do ar (p/ FC 1)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1104,24</span> (W/°C)

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Planta do edifício rotacionada 90° no sentido horário

**Folha de cálculo 1e**

Ganhos solares úteis:

orientação	tipo de envid.	A (m <sup>2</sup> )	Sv	$\phi$	f	Aequiv
N		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
NW		76,31 x	0,54 x	1,00 x	0,90 =	37,09
		x	x	x	=	
W		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
SW		63,53 x	0,54 x	1,00 x	0,50 =	17,15
		x	x	x	=	
S		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
SE		35,61 x	0,54 x	1,00 x	0,50 =	9,61
		x	x	x	=	
E		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
NE		130,63 x	0,54 x	1,00 x	0,90 =	63,49
		x	x	x	=	
horizontal		x	x	x	=	
		x	x	x	=	

	=
área total equivalente de vidro a norte (m <sup>2</sup> )	<input type="text" value="127,34"/>
	x
energia solar média incidente (KWh/m <sup>2</sup> ano)	<input type="text" value="80,00"/>
	=
ganhos solares brutos (KWh/ano)	<input type="text" value="10187,25"/>
	x
fator de utilização dos ganhos solares ( $\eta$ )	<input type="text" value="0,95"/>
	=
ganhos solares úteis	<input type="text" value="9677,89"/>

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)  
 Planta do edifício rotacionada 90° no sentido horário

**Cálculo do  $\eta$**

$$\eta = 1 - \exp \{-K / GLR\}$$

K	inércia
0,7	I fraca
1	I média
1,3	I pesada

$$GLR = G_{brutos} / N_{brutas}$$

$$GLR = \frac{10187,25}{43132,38} = 0,24$$

$$\eta = 0,95$$

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)  
 Planta do edifício rotacionada 90° no sentido horário

**Folha de cálculo 1**

	necessidades reais de aquecimento (W/°C)
envolvente opaca ext. (FC 1a)	605,42
envolvente interior (FC 1b)	415,53
envidraçados (FC 1c)	1469,18
renovação do ar (FC 1d)	1104,24
total:	3594,37

Graus-dia de aquecimento na base 18°:  
 (para a zona climática correspondente)

$$\begin{aligned} & 3594,37 \\ & \times \\ & 500,00 \\ & \times \\ & 0,024 \\ & = \end{aligned}$$

Necessidades brutas de aquecimento:  
 (para cálculo do fator de utilização dos ganhos solares)

$$43132,38 \text{ (KWh/ano)}$$

Ganhos solares úteis (FC 1e):

$$- 9677,89 \text{ (KWh/ano)}$$

NA<sub>u</sub> = necessidades de energia útil para a est. de aquecimento

$$= 33454,50 \text{ (KWh/ano)}$$

$$NA = NA_u / A_p = \frac{33454,50}{1181,00} = 28,33 \text{ (KWh/m}^2\text{ano)}$$

BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas de referência para a estação de aquecimento (N<sub>Aref</sub>)

Planta do edifício rotacionada 90° no sentido horário

**Folha de cálculo 2**

Valores para o coeficiente de transmissão térmica de referência:

		z. de aquec.	
K <sub>vref</sub>		1,4	
K <sub>href</sub>		1,1	
K <sub>eref</sub>	(a)	4,2	(a) zonas de edifício com ocupação noturna
	(b)	5,8	(b) zonas de edifícios de ocupação diurna predominante

$A_v$ (m <sup>2</sup> )	=	370,75		$K_{vref}$	=	1,4	* 1,3 =	674,77
								+
$A_h$ (m <sup>2</sup> )	=	0		$K_{href}$	=	1,1		0,00
								+
$A_e$ (m <sup>2</sup> )	=	177,15		$K_{eref}$	=	4,2		744,03
								=
								1418,80
								/
Obs.: se $A_e > 0,15A_p$ , então, usar $A_e = 0,15A_p$								1181,00
								=
$A_{emax}$ (m <sup>2</sup> )	=	0,15A <sub>p</sub>						1,20
								+
				0,34 * Pd	=	2,7		0,92
								=
								2,12
								*
				0,024 * GD	=	500		12,00
								=
				N <sub>Aref</sub>	=	25,43		(KWh/m <sup>2</sup> °C)

Verificação da satisfação das exigências do regulamento:

NA	< ou =	N <sub>Aref</sub>	
28,33		25,43	<b>reprovado</b>
folha de calculo do Na			



BIRMANN 21

Cálculo das necessidades energéticas de referência para a estação de resfriamento (NR<sub>ref</sub>)

Planta do edifício rotacionada 90° no sentido horário

**Folha de cálculo 4**

Valores para o coeficiente de transmissão térmica de referência:

	z. de resfr.	
K <sub>vref</sub>	1,4	
K <sub>href</sub>	1,1	
K <sub>eref</sub>	4,2	(a) zonas de edifício com ocupação noturna
	5,8	(b) zonas de edifícios de ocupação diurna predominante

Ganhos solares de referência pelos envidraçados e diferença efetiva de temperatura de referência

	classe de inércia	z. de resfr.
G <sub>ref</sub> (KWh/m <sup>2</sup> mês)	fraca	6,5
	média	16
	pesada	17,5
ΔT <sub>vref</sub>	todas	7,5
ΔT <sub>href</sub>		4

	A (m <sup>2</sup> )	K <sub>ref</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔT <sub>eref</sub> (°C)		
vertical opaco	165,55	1,4	7,5	x 1,3	= 2259,76
vert. interna	205,2	1,26	7,5	x 1,3	= 2520,88

Obs.: se A<sub>e</sub> > 0,15A<sub>p</sub>, então, usar A<sub>e</sub> = 0,15A<sub>p</sub>

A<sub>emax</sub> (m<sup>2</sup>) = 0,15A<sub>p</sub>

A <sub>e</sub> (m <sup>2</sup> )	x	G <sub>ref</sub>	=	1151,48
			=	2872,51
			x	M = 2,50
			=	N <sub>Gref</sub> = 7181,26

NR<sub>ref</sub> =  $\frac{N_{Gref}}{A_p}$  =  $\frac{7181,26}{1181}$  = 6,08

Verificação da satisfação das exigências do regulamento:

<b>NR ≤ NR<sub>ref</sub></b>	
15,21	6,08
<b>reprovado</b>	

ED LISTEL

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

**Folha de cálculo 1a**

Devido às envolventes opacas exteriores:

1) Perdas pela parede:

paredes	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
nordeste	8,1 x	1,501 x	1,5 =	18,24
noroeste	65,39 x	1,501 x	1,5 =	147,23
noroeste	0 x	0 x	1,5 =	0,00
sudoeste	8,1 x	1,501 x	1,5 =	18,24
sudoeste	0 x	0 x	1,5 =	0,00
sudeste	65,39 x	1,501 x	1,5 =	147,23
sudeste	0 x	0 x	1,5 =	0,00
<b>total</b>			<b>=</b>	<b>330,93</b>

330,93

2) Perdas pelas coberturas:

coberturas	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
<b>total</b>			<b>=</b>	<b>0,00</b>

+

0,00

3) perdas pelos pavimentos:

pavimentos	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
<b>total</b>			<b>=</b>	<b>0,00</b>

+

0,00

=

Total da envolvente opaca exterior (para FC 1):

330,93

(W/°C)

ED LISTEL

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

**Folha de cálculo 1b**

Devido às envolventes interiores (\*):

	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
paredes				
	10,8	x	2,064	x
			1,5	=
				=
				=
				=
coberturas				
				=
				=
				=
				=
envidraçados				
				=
				=
				=
				=
pavimentos				
				=
				=
				=
				=
			total	=
				33,44

x

0,75

=

Total da envolvente interior (para FC 1):

25,08 (W/°C)

(\*) Englobam-se aqui as paredes que separam o espaço útil dos armazéns, garagens, escadas e outras circulações comuns exteriores à zona independente do edifício.

ED LISTEL

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

**Folha de cálculo 1c**

Devido aos envidraçados:

tipo de envidr.	A (m <sup>2</sup> )		K (W/m <sup>2</sup> °C)	=	total (W/°C)
sudoeste	17,01	x	4,8	=	81,65
nordeste	17,01	x	4,8	=	81,65
sudeste	28,07	x	4,8	=	134,74
noroeste	28,07	x	4,8	=	134,74
			total	=	432,77

Total de perdas pelos envidraçados (para FC 1): 432,77 (W/°C)

ED LISTEL

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

**Folha de cálculo 1d**

Devido à renovação do ar:

área útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">311,75</span>
	x
pé-direito médio (m)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2,70</span>
	x
taxa de renovação nominal	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1,00</span>
	x
	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,34</span>
	=
Total de perdas por renovação do ar (p/ FC 1)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">286,19</span> (W/°C)

ED LISTEL

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

## Folha de cálculo 1e

Ganhos solares úteis:

orientação	tipo de envid.	A (m <sup>2</sup> )	Sv	$\phi$	f	Aequiv
N		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
NW		65,39 x	0,54 x	1,00 x	0,90 =	31,78
		x	x	x	=	
W		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
SW		8,10 x	0,54 x	1,00 x	0,50 =	2,19
		x	x	x	=	
S		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
SE		65,39 x	0,54 x	1,00 x	0,50 =	17,66
		x	x	x	=	
E		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
NE		8,10 x	0,54 x	0,30 x	0,90 =	1,18
		x	x	x	=	
horizontal		x	x	x	=	
		x	x	x	=	

	=
área total equivalente de vidro a norte (m <sup>2</sup> )	<input type="text" value="52,80"/>
	x
energia solar média incidente (KWh/m <sup>2</sup> ano)	<input type="text" value="80,00"/>
	=
ganhos solares brutos (KWh/ano)	<input type="text" value="4224,23"/>
	x
fator de utilização dos ganhos solares ( $\eta$ )	<input type="text" value="1,00"/>
	=
ganhos solares úteis	<input type="text" value="4224,23"/>

ED LISTEL

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

**Cálculo do  $\eta$**

$$\eta = 1 - \exp \{-K / GLR\}$$

K	inércia
0,7	I fraca
1	I média
1,3	I pesada

$$GLR = G_{brutos} / N_{brutas}$$

$$GLR = \frac{4224,23}{12899,49} = 0,33$$

$$\eta = 1$$

ED LISTEL

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

**Folha de cálculo 1**

	necessidades reais de aquecimento (W/°C)
envolvente opaca ext. (FC 1a)	330,93
envolvente interior (FC 1b)	25,08
envidraçados (FC 1c)	432,77
renovação do ar (FC 1d)	286,19
total:	1074,96

$$1074,96$$

x

$$500,00$$

x

$$0,024$$

=

$$12899,49 \text{ (KWh/ano)}$$

-

$$4224,23 \text{ (KWh/ano)}$$

=

$$NA_u = \text{necessidades de energia útil para a est. de aquecimento} = 8675,27 \text{ (KWh/ano)}$$

$$NA = NA_u / A_p = \frac{8675,27}{311,75} = 27,83 \text{ (KWh/m}^2\text{ano)}$$

ED LISTEL

Cálculo das necessidades energéticas de referência para a estação de aquecimento ( $N_{Aref}$ )**Folha de cálculo 2**

Valores para o coeficiente de transmissão térmica de referência:

		z. de aquec.	
$K_{vref}$		1,4	
$K_{href}$		1,1	
$K_{eref}$	(a)	4,2	(a) zonas de edifício com ocupação noturna
	(b)	5,8	(b) zonas de edifícios de ocupação diurna predominante

$$\begin{array}{rcl}
 A_v \text{ (m}^2\text{)} & = & 157,78 \\
 A_h \text{ (m}^2\text{)} & = & 0 \\
 A_e \text{ (m}^2\text{)} & = & 90,16 \\
 \text{Obs.: se } A_e > 0,15A_p, \text{ então, usar } A_e = 0,15A_p & & \\
 A_{e\max} \text{ (m}^2\text{)} & = & 0,15A_p \\
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{rcl}
 K_{vref} & = & 1,4 * 1,3 = 287,16 \\
 K_{href} & = & 1,1 \\
 K_{eref} & = & 5,8 \\
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 + \\
 0,00 \\
 + \\
 522,93 \\
 = \\
 810,09 \\
 / \\
 311,75 \\
 = \\
 2,60 \\
 + \\
 0,34 * 2,7 = 0,92 \\
 = \\
 3,52 \\
 * \\
 0,024 * 500 = 12,00 \\
 = \\
 N_{Aref} = 42,20 \text{ (kWh/m}^2\text{°C)}
 \end{array}$$

Verificação da satisfação das exigências do regulamento:

$$\begin{array}{rcl}
 N_A & < \text{ ou } = & N_{Aref} \\
 21,83 & < \text{ ou } = & 42,20 \\
 \end{array}
 \qquad
 \text{APROVADO}$$

ED LISTEL

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de resfriamento (NR)

**Folha de cálculo 3**

Devido à transmissão de calor através das envolventes:

envidraç.	orientação	A (m <sup>2</sup> )	φ		Sv		Gi (KWh/m <sup>2</sup> )			ganho (KWh)		
	N		x		x				=			
			x		x				=			
	NW	65,39	x	1,00	x	0,54	x	28,60	=	1009,88		
				x		x			=			
	W		x		x				=			
				x		x			=			
	SW	8,10	x	1,00	x	0,54	x	33,00	=	144,34		
				x		x			=			
	S		x		x				=			
				x		x			=			
	SE	65,39	x	1,00	x	0,54	x	33,00	=	1165,25		
				x		x			=			
	E		x		x				=			
				x		x			=			
				x		x			=			
	NE	8,10	x	0,30	x	0,54	x	28,60	=	37,53		
				x		x			=			
	horizontal		x		x				=			
				x		x			=			
paredes	orientação	A (m <sup>2</sup> )	fc		K (W/m <sup>2</sup> °C)		ΔTe (KWh°C/W)			ganho (KWh)		
	nordeste	8,10	x	1,50	x	1,50	x	9,50	x	0,36	=	62,33
	noroeste	65,39	x	1,50	x	1,50	x	9,50	x	0,36	=	503,18
	noroeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	9,50	x	0,36	=	0,00
	sudoeste	8,10	x	1,50	x	1,50	x	9,50	x	0,36	=	62,33
	sudoeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	9,50	x	0,36	=	0,00
	sudeste	65,39	x	1,50	x	1,50	x	9,50	x	0,36	=	503,18
	sudeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	9,50	x	0,36	=	0,00
	interna	10,80	x	1,50	x	2,06	x	9,50	x	0,36	=	114,35
			x		x				x	0,36	=	
coberturas	orientação	A (m <sup>2</sup> )	fc		K (W/m <sup>2</sup> °C)		ΔTe (KWh°C/W)			ganho (KWh)		
			x		x				x	0,36	=	
			x		x				x	0,36	=	
			x		x				x	0,36	=	
			x		x				x	0,36	=	
total										=	3602,37	

fator de inércia	fraca	=	1,2	x	1,20
	média	=	1		
	pesada	=	0,9		
duração média em meses da estação de resfriamento				x	2,50
necessidades globais (KWh/ ano)				=	10807,11
NR = nec. globais/Ap	=	10807,11		=	8,25
		1309,27			KWh/m <sup>2</sup> ano

ED LISTEL

Cálculo das necessidades energéticas de referência para a estação de resfriamento (NR<sub>ref</sub>)

**Folha de cálculo 4**

Valores para o coeficiente de transmissão térmica de referência:

	z. de resfr.	
K <sub>vref</sub>	1,4	
K <sub>href</sub>	1,1	
K <sub>eref</sub>	4,2	(a) zonas de edifício com ocupação noturna
	5,8	(b) zonas de edifícios de ocupação diurna predominante

Ganhos solares de referência pelos envidraçados e diferença efetiva de temperatura de referência

	classe de inércia	z. de resfr.
G <sub>ref</sub> (KWh/m <sup>2</sup> mês)	fraca	6,5
	média	16
	pesada	17,5
ΔT <sub>vref</sub>	todas	7,5
ΔT <sub>href</sub>		4

	A (m <sup>2</sup> )	K <sub>ref</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔT <sub>eref</sub> (°C)		
vertical opaco	146,98	1,4	7,5	x 1,3	= 2006,28
vert. interna	10,8	1,26	7,5	x 1,3	= 132,68

Obs.: se A<sub>e</sub> > 0,15A<sub>p</sub>, então, usar A<sub>e</sub> = 0,15A<sub>p</sub>

A<sub>emax</sub> (m<sup>2</sup>) = 0,15A<sub>p</sub>

A <sub>e</sub> (m <sup>2</sup> )	x	G <sub>ref</sub>	=	143,26
			=	913,28
			x	2,50
			=	2283,21

M<sub>Gref</sub> =

NR<sub>ref</sub> =  $\frac{NG_{ref}}{A_p}$  =  $\frac{2283,21}{146,98}$  = 15,53

Verificação da satisfação das exigências do regulamento:

NR ≤ NR <sub>ref</sub>	8,25 ≤ 15,53	<b>APROVADO</b>
------------------------	--------------	-----------------

## NESTLÉ

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Situação original

**Folha de cálculo 1a**

Devido às envolventes opacas exteriores:

1) Perdas pela parede:

paredes	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
nordeste	40,19 x	2,229 x	1,5 =	134,38
noroeste	40,19 x	2,229 x	1,5 =	134,38
noroeste	0 x	0 x	1,5 =	0,00
sudoeste	40,19 x	2,229 x	1,5 =	134,38
sudoeste	0 x	0 x	1,5 =	0,00
sudeste	40,19 x	2,229 x	1,5 =	134,38
sudeste	0 x	0 x	1,5 =	0,00
total =				537,50

537,50

2) Perdas pelas coberturas:

coberturas	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
total =				0,00

+

0,00

3) perdas pelos pavimentos:

pavimentos	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
total =				0,00

+

0,00

=

Total da envolvente opaca exterior (para FC 1):

537,50

(W/°C)

## NESTLÉ

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Situação original

**Folha de cálculo 1b**

Devido às envolventes interiores (\*):

	A (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	f <sub>c</sub>	total (W/°C)
paredes				
	369,58 x	2,064 x	1,5 =	1144,22
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
coberturas				
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
envidraçados				
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
	x	x	=	
pavimentos				
	x	x	=	
	x	x	=	
			total =	1144,22

x

0,75

=

Total da envolvente interior (para FC 1):

858,16 (W/°C)

(\*) Englobam-se aqui as paredes que separam o espaço útil dos armazéns, garagens, escadas e outras circulações comuns exteriores à zona independente do edifício.

NESTLÉ

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Situação original

**Folha de cálculo 1c**

Devido aos envidraçados:

tipo de envidr.	A (m <sup>2</sup> )		K (W/m <sup>2</sup> °C)	=	total (W/°C)
sudoeste	11,9	x	4,8	=	57,12
sudoeste	11,9	X	2,3	=	27,37
nordeste	11,9	x	4,8	=	57,12
nordeste	11,9	X	2,3	=	27,37
sul	47,79	x	4,8	=	229,39
norte	47,79	x	4,8	=	229,39
sudeste	11,9	x	4,8	=	57,12
sudeste	11,9	X	2,3	=	27,37
noroeste	11,9	x	4,8	=	57,12
noroeste	11,9	X	2,3	=	27,37
			total	=	769,37

Total de perdas pelos envidraçados (para FC 1): 769,37 (W/°C)

NESTLÉ

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Situação original

**Folha de cálculo 1d**

Devido à renovação do ar:

área útil de pavimento (m <sup>2</sup> )	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1028,00</span>
	x
pé-direito médio (m)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2,70</span>
	x
taxa de renovação nominal	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1,00</span>
	x
	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,34</span>
	=
Total de perdas por renovação do ar (p/ FC 1)	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">943,70</span> (W/°C)

NESTLÉ

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Situação original

**Folha de cálculo 1e**

Ganhos solares úteis:

orientação	tipo de envid.	A (m <sup>2</sup> )	S <sub>v</sub>	φ	f	Aequiv
N		47,79 x	0,65 x	1,00 x	1,00 =	31,06
		x	x	x	=	
NW		23,80 x	0,65 x	1,00 x	0,90 =	13,92
		x	x	x	=	
W		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
SW		23,80 x	0,65 x	1,00 x	0,50 =	7,74
		x	x	x	=	
S		49,79 x	0,65 x	1,00 x	0,40 =	12,95
		x	x	x	=	
SE		23,80 x	0,65 x	1,00 x	0,50 =	7,74
		x	x	x	=	
E		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
		x	x	x	=	
NE		23,80 x	0,65 x	1,00 x	0,90 =	13,92
		x	x	x	=	
horizontal		x	x	x	=	
		x	x	x	=	

	=
área total equivalente de vidro a norte (m <sup>2</sup> )	<input type="text" value="87,32"/>
	x
energia solar média incidente (KWh/m <sup>2</sup> ano)	<input type="text" value="80,00"/>
	=
ganhos solares brutos (KWh/ano)	<input type="text" value="6985,99"/>
	x
fator de utilização dos ganhos solares (η)	<input type="text" value="1,00"/>
	=
ganhos solares úteis	<input type="text" value="6985,99"/>

NESTLÉ

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Situação original

**Cálculo do  $\eta$**

$$\eta = 1 - \exp \{-K / GLR\}$$

K	inércia
0,7	I fraca
1	I média
1,3	I pesada

$$GLR = G_{brutos} / N_{brutas}$$

$$GLR = \frac{6985,99}{37304,93} = 0,19$$

$$\eta = 1$$

NESTLÉ

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento (NA)

Situação original

**Folha de cálculo 1**

	necessidades reais de aquecimento (W/°C)
envolvente opaca ext. (FC 1a)	537,50
envolvente interior (FC 1b)	858,16
envidraçados (FC 1c)	769,37
renovação do ar (FC 1d)	943,70
total:	3108,74

Graus-dia de aquecimento na base 18°:  
(para a zona climática correspondente)

$$3108,74$$

x

$$500,00$$

x

$$0,024$$

=

Necessidades brutas de aquecimento:  
(para cálculo do fator de utilização dos ganhos solares)

$$37304,93 \text{ (KWh/ano)}$$

-

Ganhos solares úteis (FC 1e):

$$6985,99 \text{ (KWh/ano)}$$

=

$$NA_u = \text{necessidades de energia útil para a est. de aquecimento} = 30318,93 \text{ (KWh/ano)}$$

$$NA = NA_u / A_p = \frac{30318,93}{1028,00} = 29,49 \text{ (KWh/m}^2\text{ano)}$$

NESTLÉ

Cálculo das necessidades energéticas de referência para a estação de aquecimento ( $N_{Aref}$ )

Situação original

**Folha de cálculo 2**

Valores para o coeficiente de transmissão térmica de referência:

		z. de aquec.	
$K_{vref}$		1,4	
$K_{href}$		1,1	
$K_{eref}$	(a)	4,2	(a) zonas de edifício com ocupação noturna
	(b)	5,8	(b) zonas de edifícios de ocupação diurna predominante

$$\begin{array}{rcl}
 A_v \text{ (m}^2\text{)} & = & 530,36 \\
 A_h \text{ (m}^2\text{)} & = & 0 \\
 A_e \text{ (m}^2\text{)} & = & 154,2
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{rcl}
 K_{vref} & = & 1,4 * 1,3 = 965,26 \\
 K_{href} & = & 1,1 \\
 K_{eref} & = & 5,8
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 + \\
 0,00 \\
 + \\
 894,36 \\
 = \\
 1859,62 \\
 / \\
 1028,00 \\
 = \\
 1,81 \\
 + \\
 0,34 * 2,7 = 0,92 \\
 = \\
 2,73 \\
 * \\
 0,024 * 500 = 12,00 \\
 = \\
 N_{Aref} = 32,72 \text{ (KWh/m}^2\text{°C)}
 \end{array}$$

Obs.: se  $A_e > 0,15A_p$ , então, usar  $A_e = 0,15A_p$

$$A_{emax} \text{ (m}^2\text{)} = 0,15A_p$$

Verificação da satisfação das exigências do regulamento:

$$\begin{array}{r}
 N_A < \text{ ou } = N_{Aref} \\
 29,49 < \text{ ou } = 32,72
 \end{array}
 \quad
 \text{APROVADO}$$

ED.NESTLÉ

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de resfriamento (NR)

Situação original

**Folha de cálculo 3**

Devido à transmissão de calor através das envolventes:

envidraç.	orientação	A (m <sup>2</sup> )		φ		Sv		Gi (KWh/m <sup>2</sup> )			ganho (KWh)	
	N	47,79	x	1,00	x	0,32	x	22,00			= 336,44	
			x		x		x				=	
	NW	23,80	x	1,00	x	0,32	x	28,60			= 217,82	
				x		x		x				=
	W		x		x		x				=	
				x		x		x				=
	SW	23,80	x	1,00	x	0,32	x	33,00			= 251,33	
				x		x		x				=
	S	47,79	x	1,00	x	0,32	x	26,40			= 403,73	
				x		x		x				=
	SE	23,80	x	1,00	x	0,32	x	33,00			= 251,33	
				x		x		x				=
	E		x		x		x				=	
				x		x		x				=
				x		x		x				=
	NE	23,80	x	1,00	x	0,32	x	28,60			= 217,82	
				x		x		x				=
	horizontal		x		x		x				=	
				x		x		x				=
paredes	orientação	A (m <sup>2</sup> )		fc		K (W/m <sup>2</sup> °C)		ΔTe (KWh°C/W)			ganho (KWh)	
	nordeste	40,19	x	1,50	x	2,23	x	9,50	x	0,36	= 459,56	
	noroeste	40,19	x	1,50	x	2,23	x	9,50	x	0,36	= 459,56	
	noroeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	9,50	x	0,36	= 0,00	
	sudoeste	40,19	x	1,50	x	2,23	x	9,50	x	0,36	= 459,56	
	sudoeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	9,50	x	0,36	= 0,00	
	sudeste	40,19	x	1,50	x	2,23	x	9,50	x	0,36	= 459,56	
	sudeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	9,50	x	0,36	= 0,00	
	interna	369,58	x	1,50	x	2,47	x	9,50	x	0,36	= 4688,67	
			x		x		x		x	0,36	=	
coberturas	orientação	A (m <sup>2</sup> )		fc		K (W/m <sup>2</sup> °C)		ΔTe (KWh°C/W)			ganho (KWh)	
			x		x		x		x	0,36	=	
			x		x		x		x	0,36	=	
			x		x		x		x	0,36	=	
			x		x		x		x	0,36	=	
total											= 8205,39	

	fracas	=	1,2	x	
fator de inércia	média	=	1	x	1,20
	pesada	=	0,9	x	x
duração média em meses da estação de resfriamento					2,50
					=
necessidades globais (KWh/ ano)					24616,17
					=
NR = nec. globais/Ap	=	24616,17	=	18,80	
		1309,27			KWh/m <sup>2</sup> ano

NESTLÉ

Cálculo das necessidades energéticas de referência para a estação de resfriamento (NRref)

Situação original

**Folha de cálculo 4**

Valores para o coeficiente de transmissão térmica de referência:

	z. de resfr.	
Kvref	1,4	
Khref	1,1	
Keref	4,2	(a) zonas de edifício com ocupação noturna
	5,8	(b) zonas de edifícios de ocupação diurna predominante

Ganhos solares de referência pelos envidraçados e diferença efetiva de temperatura de referência

	classe de inércia	z. de resfr.
Gref (KWh/m2mês)	fraca	6,5
	média	16
	pesada	17,5
ΔTvref	todas	7,5
ΔThref		4

	A (m2)	Kref (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔTeref (°C)		
vertical opaco	160,78	1,4	7,5	x 1,3	= 2194,65
vert. interna	369,58	1,26	7,5	x 1,3	= 4540,29

Obs.: se  $A_e > 0,15A_p$ , então, usar  $A_e = 0,15A_p$

$A_{max} (m^2) = 0,15A_p$

$A_e (m^2)$	x	Gref	=	+	=
154,2		6,5		1002,30	
				3426,88	
				x	
			M =	2,50	
				=	
			NGref =	8567,19	

$NR_{ref} = \frac{NG_{ref}}{A_p} = \frac{8567,19}{1028} = 8,33$

Verificação da satisfação das exigências do regulamento:

$NR \leq NR_{ref}$	
18,8	8,33

**REPROVADO**

ED.NESTLÉ

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de resfriamento (NR)

Brise c/obstrução de 40% nas faces N e S e isol, term. nas paredes lã de rocha 100mm

**Folha de cálculo 3**

Devido à transmissão de calor através das envolventes:

envidraç.	orientação	A (m <sup>2</sup> )		φ		Sv		Gi (KWh/m <sup>2</sup> )			ganho (KWh)	
	N	47,79	x	0,60	x	0,32	x	22,00			= 201,86	
			x		x		x				=	
	NW	23,80	x	1,00	x	0,32	x	28,60			= 217,82	
				x		x		x				=
	W		x		x		x				=	
				x		x		x				=
	SW	23,80	x	1,00	x	0,32	x	33,00			= 251,33	
				x		x		x				=
	S	47,79	x	0,60	x	0,32	x	26,40			= 242,24	
				x		x		x				=
	SE	23,80	x	1,00	x	0,32	x	33,00			= 251,33	
				x		x		x				=
	E		x		x		x				=	
				x		x		x				=
				x		x		x				=
	NE	23,80	x	1,00	x	0,32	x	28,60			= 217,82	
				x		x		x				=
	horizontal		x		x		x				=	
				x		x		x				=
paredes	orientação	A (m <sup>2</sup> )		fc		K (W/m <sup>2</sup> °C)		ΔTe (KWh°C/W)			ganho (KWh)	
	nordeste	40,19	x	1,50	x	0,34	x	9,50	x	0,36	= 69,27	
	noroeste	40,19	x	1,50	x	0,34	x	9,50	x	0,36	= 69,27	
	noroeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	9,50	x	0,36	= 0,00	
	sudoeste	40,19	x	1,50	x	0,34	x	9,50	x	0,36	= 69,27	
	sudoeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	9,50	x	0,36	= 0,00	
	sudeste	40,19	x	1,50	x	0,34	x	9,50	x	0,36	= 69,27	
	sudeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	9,50	x	0,36	= 0,00	
	interna	369,58	x	1,50	x	0,34	x	9,50	x	0,36	= 637,04	
			x		x		x		x	0,36	=	
coberturas	orientação	A (m <sup>2</sup> )		fc		K (W/m <sup>2</sup> °C)		ΔTe (KWh°C/W)			ganho (KWh)	
			x		x		x		x	0,36	=	
			x		x		x		x	0,36	=	
			x		x		x		x	0,36	=	
			x		x		x		x	0,36	=	
total											= 2296,53	

fator de inércia	fraca	=	1,2	x	
	média	=	1	x	1,20
	pesada	=	0,9	x	
duração média em meses da estação de resfriamento				x	2,50
					=
necessidades globais (KWh/ ano)					6889,59
					=
NR = nec. globais/Ap		=	6889,59		5,26
			1309,27		KWh/m <sup>2</sup> ano

ED. NESTLÉ

Cálculo das necessidades energéticas de referência para a estação de resfriamento (NR<sub>ref</sub>)

Brise c/obstrução de 40% nas faces N e S e isol, term. nas paredes lã de rocha 100mm

**Folha de cálculo 4**

Valores para o coeficiente de transmissão térmica de referência:

	z. de resfr.	
K <sub>vref</sub>	1,4	
K <sub>href</sub>	1,1	
K <sub>eref</sub>	4,2	(a) zonas de edifício com ocupação noturna
	5,8	(b) zonas de edifícios de ocupação diurna predominante

Ganhos solares de referência pelos envidraçados e diferença efetiva de temperatura de referência

	classe de inércia	z. de resfr.
G <sub>ref</sub> (KWh/m <sup>2</sup> mês)	fraca	6,5
	média	16
	pesada	17,5
ΔT <sub>vref</sub>	todas	7,5
ΔT <sub>href</sub>		4

	A (m <sup>2</sup> )	K <sub>ref</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔT <sub>eref</sub> (°C)			
vertical opaco	160,78	1,4	7,5	x	1,3	= 2194,65
vert. interna	369,58	1,26	7,5	x	1,3	= 4540,29

Obs.: se  $A_e > 0,15A_p$ , então, usar  $A_e = 0,15A_p$

$A_{e\max} (m^2) = 0,15A_p$

$A_e (m^2)$	x	G <sub>ref</sub>	=	=
154,2		6,5		1002,30
				=
				3426,88
				x
			M =	2,50
				=
			N <sub>Gref</sub> =	8567,19

$NR_{ref} = \frac{N_{Gref}}{A_p}$	=	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; border: 1px solid black;">8567,19</td> <td style="text-align: center; border: 1px solid black;">=</td> <td style="text-align: center; border: 1px solid black;">8,33</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; border: 1px solid black;">1028</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	8567,19	=	8,33	1028		
8567,19	=	8,33						
1028								

Verificação da satisfação das exigências do regulamento:

$NR \leq NR_{ref}$	
5,26	8,33

**aprovado**

ED.NESTLÉ

Cálculo das necessidades energéticas reais para a estação de resfriamento (NR)

Camada de 200m de isol. térmico nas paredes

Folha de cálculo 3

Devido à transmissão de calor através das envolventes:

envidraç.	orientação	A (m <sup>2</sup> )		φ		Sv		Gi (KWh/m <sup>2</sup> )			ganho (KWh)	
	N	47,79	x	1,00	x	0,32	x	22,00			= 336,44	
			x		x		x				=	
	NW	23,80	x	1,00	x	0,32	x	28,60			= 217,82	
				x		x		x				=
	W		x		x		x				=	
				x		x		x				=
	SW	23,80	x	1,00	x	0,32	x	33,00			= 251,33	
				x		x		x				=
	S	47,79	x	1,00	x	0,32	x	26,40			= 403,73	
				x		x		x				=
	SE	23,80	x	1,00	x	0,32	x	33,00			= 251,33	
				x		x		x				=
	E		x		x		x				=	
				x		x		x				=
				x		x		x				=
	NE	23,80	x	1,00	x	0,32	x	28,60			= 217,82	
				x		x		x				=
	horizontal		x		x		x				=	
				x		x		x				=
paredes	orientação	A (m <sup>2</sup> )		fc		K (W/m <sup>2</sup> °C)		ΔTe (KWh°C/W)			ganho (KWh)	
	nordeste	40,19	x	1,50	x	0,18	x	9,50	x	0,36	= 36,91	
	noroeste	40,19	x	1,50	x	0,18	x	9,50	x	0,36	= 36,91	
	noroeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	9,50	x	0,36	= 0,00	
	sudoeste	40,19	x	1,50	x	0,18	x	9,50	x	0,36	= 36,91	
	sudoeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	9,50	x	0,36	= 0,00	
	sudeste	40,19	x	1,50	x	0,18	x	9,50	x	0,36	= 36,91	
	sudeste	0,00	x	1,50	x	0,00	x	9,50	x	0,36	= 0,00	
	interna	369,58	x	1,50	x	0,18	x	9,50	x	0,36	= 339,37	
			x		x		x		x	0,36	=	
coberturas	orientação	A (m <sup>2</sup> )		fc		K (W/m <sup>2</sup> °C)		ΔTe (KWh°C/W)			ganho (KWh)	
			x		x		x		x	0,36	=	
			x		x		x		x	0,36	=	
			x		x		x		x	0,36	=	
			x		x		x		x	0,36	=	

total = 2165,46

fator de inércia	fraca = 1,2	x	
	média = 1	x	1,20
	pesada = 0,9	x	
duração média em meses da estação de resfriamento		x	2,50
		=	
necessidades globais (KWh/ ano)			6496,37

$$NR = \frac{nec. globais}{A_p} = \frac{6496,37}{1309,27} = 4,96 \text{ KWh/m}^2\text{ano}$$

ED. NESTLÉ

Cálculo das necessidades energéticas de referência para a estação de resfriamento (NR<sub>ref</sub>)  
 Camada de 200mm de isol. térmico nas paredes

**Folha de cálculo 4**

Valores para o coeficiente de transmissão térmica de referência:

	z. de resfr.	
K <sub>vref</sub>	1,4	
K <sub>href</sub>	1,1	
K <sub>eref</sub>	4,2	(a) zonas de edifício com ocupação noturna
	5,8	(b) zonas de edifícios de ocupação diurna predominante

Ganhos solares de referência pelos envidraçados e diferença efetiva de temperatura de referência

	classe de inércia	z. de resfr.
G <sub>ref</sub> (KWh/m <sup>2</sup> mês)	fraca	6,5
	média	16
	pesada	17,5
ΔT <sub>vref</sub>	todas	7,5
ΔT <sub>href</sub>		4

	A (m <sup>2</sup> )	K <sub>ref</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔT <sub>eref</sub> (°C)		
vertical opaco	160,78	1,4	7,5	x 1,3	= 2194,65
vert. interna	369,58	1,26	7,5	x 1,3	= 4540,29

Obs.: se A<sub>e</sub> > 0,15A<sub>p</sub>, então, usar A<sub>e</sub> = 0,15A<sub>p</sub>

A<sub>emax</sub> (m<sup>2</sup>) = 0,15A<sub>p</sub>

	=	6734,94
	x	0,36
	=	2424,58
A <sub>e</sub> (m <sup>2</sup> )	x	G <sub>ref</sub>
154,2	x	6,5
	=	1002,30
	=	3426,88
	x	M
	=	2,50
	=	N <sub>Gref</sub>
	=	8567,19

NR<sub>ref</sub> =  $\frac{N_{Gref}}{A_p}$  =  $\frac{8567,19}{1028}$  = 8,33

Verificação da satisfação das exigências do regulamento:

NR ≤ NR <sub>ref</sub>	
4,96	8,33

**aprovado**

## **2. Tabelas e Metodologias**

Esta parte do trabalho traz tabelas complementares e metodologias utilizadas na aplicação do regimento proposto. Essas tabelas e metodologias foram desenvolvidas e fazem parte do Estudo de Viabilidade de um Regulamento Energético para o Estado de São Paulo desenvolvido por um grupo de pesquisa da FAUUSP coordenado pelo Prof. Dr. Marcelo de Andrade Romero e composto pelos arquitetos Juliana Saft, Juliano Beraldo e Fábio Abreu.

### **2.1. O Regulamento**

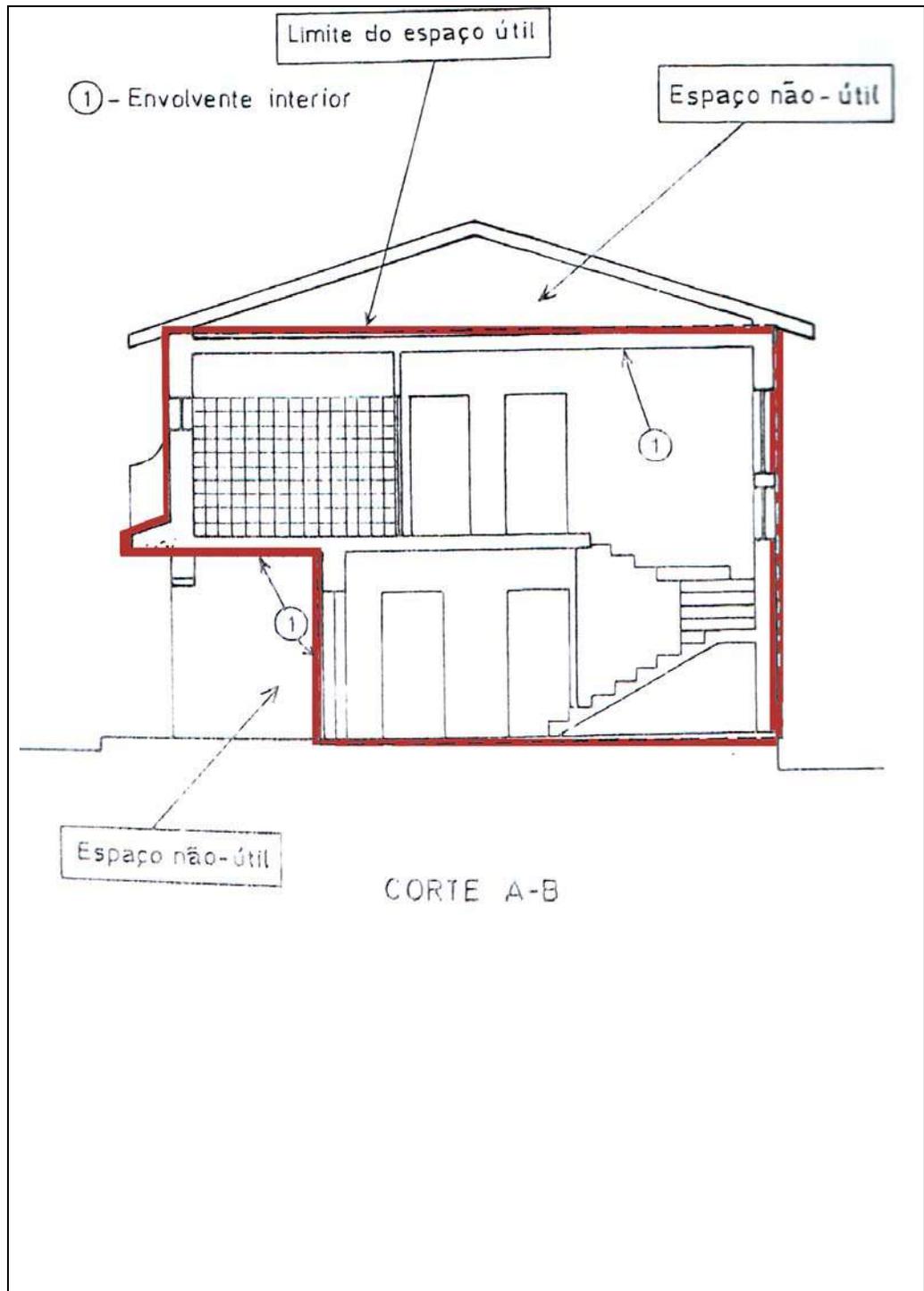
#### **2.1.1. Considerações Preliminares**

Este regulamento se aplica a todas as zonas independentes de edifícios novos, estando excluídas as construções pré-existentes. No entanto, as reformas que excederem a metade da área edificada estarão sujeitas a ele.

Seu objetivo é caracterizar as componentes térmicas relacionadas com os aspectos construtivos e, conseqüentemente, com as tecnologias passivas, não abrangendo nenhum sistema ativo de aquecimento ou resfriamento.

Este Regulamento não se aplica a edifícios que, pela sua função, se destinam a estar freqüentemente abertos para o exterior como, por exemplo, garagens, armazéns e edifícios industriais em que exista uma elevada taxa de renovação de ar. Os edifícios industriais ou zonas específicas de um edifício onde tal condição não ocorra como zonas de escritórios, laboratórios, refeitórios etc estão sujeitas ao regulamento. Estão também excluídos os edifícios históricos.

Zonas independentes são definidas como toda e qualquer parte do edifício que possua um marcador de consumo independente e cujo direito de propriedade possa ser transmitido autonomamente.



**Espaços não úteis**

O Regulamento deve ser aplicado:

a) À totalidade de um edifício quando este não tem partes independentes, isto é, uma habitação unifamiliar, um edifício de serviços, pertencente a uma única entidade e dispor de um único marcador, um edifício escolar etc. Apenas estão sujeitas à verificação regulamentar as zonas úteis dos edifícios. Por exemplo, garagens são zonas anexas não aquecidas, portanto, não é uma zona útil. Um sótão será considerado uma zona útil somente se for destinado a uma ocupação e será zona anexa não útil se for inacessível ou destinado a depósito.

Deve-se notar que entre a zona útil e as zonas anexas não úteis deve haver forçosamente uma barreira contínua e a comunicação entre uma e outra deve ser feita por portas de modo que possam estar normalmente fechadas e evitem taxas de renovação de ar elevadas.

b) A cada parte independente de um edifício, caso exista mais do que uma, e que sejam dotadas de marcadores individuais de energia, ou seja, cada habitação de um edifício multifamiliar, seja este horizontal ou vertical.

Nos edifícios com mais de uma zona, as circulações, que não são zonas destinadas à ocupação permanente, não devem estar sujeitas ao regulamento, sendo consideradas zonas anexas não aquecidas.

Neste segundo caso, o regulamento deve ser satisfeito para cada parte individualmente, devendo ser adotadas soluções diferentes para cada parte, de modo a serem satisfeitos os requisitos mínimos exigidos pelo regulamento em cada caso ou, uma única solução construtiva, mas que todos os casos sejam satisfeitos pelos requisitos mínimos.

O regulamento exige que a zona avaliada obedeça a Requisitos Mínimos. Satisfeitos tais requisitos, o regulamento prevê duas formas de aprovação: Aprovação Automática e Verificação Global.

### **2.1.2. Requisitos Mínimos**

Para que um edifício ou zona independente possa ser verificado pelo regulamento é necessário que satisfaça certos requisitos mínimos próprios para as estações de aquecimento e resfriamento, caso contrário, o projeto estará reprovado e deverá ser modificado para que possa continuar o processo de verificação.

A estação de aquecimento para o Estado de São Paulo compreende o período de 1º de abril a 31 de outubro e a estação de resfriamento o período de 1º de novembro a 31 de março.

**2.1.2.1. Requisito Mínimo da estação de aquecimento:**

Para este período, o coeficiente de transmissão térmica (k) dos elementos exteriores opacos verticais deve ser inferior a **1,80 W/m<sup>2</sup>°C** e dos elementos exteriores opacos horizontais não deve exceder **1,25 W/m<sup>2</sup>°C**.

**2.1.2.2. Requisito Mínimo da estação de resfriamento:**

Classe de inércia térmica	Fator solar dos vãos envidraçados
Fraca	0,15
Média	0,56
Pesada	0,56

**Anexo2 – tabela 1**

O requisito mínimo para este período diz respeito às proteções solares dos envidraçados, a fim de evitar o sobreaquecimento no interior das edificações. O fator solar (S) dos vãos envidraçados não orientados a sul varia de acordo com a classe de inércia térmica das envolventes opacas da edificação e não devem exceder os valores máximos descritos na tabela abaixo:

### 2.1.3. Verificação Automática

Caso o projeto do edifício tenha atingido os índices satisfatórios referentes aos requisitos mínimos, este estará totalmente aprovado se também satisfizer os índices necessários para uma aprovação automática, não tendo que proceder, assim, nenhum cálculo posterior. Os índices mínimos para uma aprovação automática também se subdividem para atender as estações de aquecimento e de resfriamento. Caso não atenda aos parâmetros da aprovação automática, se fará necessário o uso da verificação global.

#### 2.1.3.1. Requisitos para a estação de aquecimento:

a) o coeficiente de transmissão térmica (  $K$  ) do edifício não deve ser superior ao coeficiente de transmissão térmica de referência (  $K_{ref}$  ), segundo a tabela abaixo:

#### Anexo 2 – tabela 2:

Coef. de transmissão térmica	Estação de aquecimento
$K_{vertical}$	1,4
$K_{horizontal}$	1,1
$K_{envidraçados}$	(a) 4,2
	(b) 5,8

- (a) edifícios com ocupação noturna importante;  
 (b) restante dos casos;

**b) o fator de concentração de perdas térmicas (  $f_c$  ) deve ser igual ou inferior a 1,3:**

**c) a área de envidraçados (  $A_e$  ) deve ser menor ou igual a 15% da área útil de pavimento (  $A_p$  ) e menor ou igual a 50% da área de fachada.**

#### 2.1.3.2. Requisitos para a estação de resfriamento:

- a) ter cobertura de cor clara. É entendida como cor clara toda cor cujo coeficiente de absorção da radiação solar (  $\alpha$  ) for menor ou igual a 0,7.  
 b) ter inércia térmica (  $I$  ) média ou pesada.  
 c) ter fator solar para vãos envidraçados (  $S$  ) inferior a 0,15.

#### 2.1.4. Verificação Global

Estão sujeitos à verificação global todos os edifícios que atenderam aos requisitos mínimos mas não aos requisitos da aprovação automática e aqueles cuja área útil por zona independente seja superior a 300 m<sup>2</sup>.

#### 2.1.5. Cálculo das necessidades energéticas máximas de referência para a estação de aquecimento:

$$NA_{ref} = [ ( 1,3K_{vref}A_v + K_{href}A_h + K_{ref}A_e ) / A_p + 0,34Pd ] \times ( 0,024GD )$$

**NA<sub>ref</sub>** = necessidades energéticas de referência para estação de aquecimento [kWh/m<sup>2</sup>ano] (ver folha de cálculo 2);

**1,3** = fator de concentração de perdas térmicas de referência;

**K<sub>vref</sub>** = coeficiente de transmissão térmica de referência das envolventes verticais exteriores e interiores [W/m<sup>2</sup>°C], (ver cap. 4 tabela 2);

**A<sub>v</sub>** = área da envolvente vertical exterior e interior opaca [m<sup>2</sup>];

**K<sub>href</sub>** = coeficiente de transmissão térmica de referência das envolventes horizontais exteriores e interiores [W/m<sup>2</sup>°C], (ver cap. 4 tabela 2);

**A<sub>h</sub>** = área da envolvente horizontal exterior e interior [m<sup>2</sup>];

**K<sub>ref</sub>** = coeficiente de transmissão térmica de referência dos envidraçados exteriores e interiores [W/m<sup>2</sup>°C], (ver cap. 4 tabela 2);

**A<sub>e</sub>** = área dos envidraçados exteriores e interiores [m<sup>2</sup>] – se maior do que 15% da A<sub>p</sub>, utilizar A<sub>e</sub> = 0,15A<sub>p</sub>;

**A<sub>p</sub>** = área útil do pavimento [m<sup>2</sup>];

**0,34** = constante de renovação do ar;

**P<sub>d</sub>** = pé-direito médio [m];

**0,024** = constante de transformação de W para Wh;

**GD** = 500°Cdia = graus-dia de aquecimento;

### 2.1.6. Cálculo do consumo energético real para a estação de aquecimento:

O valor da necessidade nominal de aquecimento visa garantir uma temperatura média no interior do edifício de 21°C, estabelecendo, assim, uma condição de conforto.

O algoritmo calculado a seguir não deve ser superior ao valor da necessidade nominal de aquecimento de referência. Caso o valor real exceda o de referência, cabe ao projetista fazer as alterações necessárias ao projeto e, então, verificá-lo novamente.

$$NA = [ ( F1 + F2 + F3 + F4 ) \times 0,024GD / Ap ] + [ ( 0,34ApPd ) \times 0,024GD / Ap ] - [ ( F5 ) / Ap ]$$

**NA** = necessidades energéticas reais para a estação de aquecimento [kWh/m<sup>2</sup>ano] (ver folha de cálculo 1);

**F1** =  $\sum_{m=1}^n \mathbf{f_c K_v A_v}$  – referente às perdas por condução pelas envoltentes verticais (ver folha de cálculo 1)

**F2** =  $\sum_{j=1}^n \mathbf{f_c K_h A_h}$  – referente às perdas por condução pelas envoltentes horizontais (ver folha de cálculo 1)

**F3** =  $\sum_{l=1}^n \mathbf{K_e A_e}$  – referente às perdas por condução pelos envidraçados (ver folha de cálculo 1)

**F4** =  $0,75 \sum_{r=1}^n \mathbf{f_c K_i A_i}$  – referente às perdas por condução pelas envoltentes interiores (ver folha de cálculo 1)

**F5** =  $\sum_{i=1}^n \mathbf{A_e G A S_v} \square \square \tilde{\mathbf{f}}$  referente aos ganhos solares pelos envidraçados (ver folha de cálculo 1)

**m** = quantidade de componentes construtivos diferentes nas fachadas exteriores;

**j** = quantidade de componentes construtivos diferentes nas coberturas e nos pavimentos;

**l** = quantidade de componentes construtivos diferentes de envidraçados;

**r** = quantidade de componentes construtivos diferentes nas envoltentes interiores;

**fc** = fator de concentração das perdas térmicas; (ver cap 4 – tabela 9)

**Kv** = coeficiente de transmissão térmica das envoltentes verticais [ $W/m^2\text{°C}$ ];

**Av** = área de fachada opaca [ $m^2$ ];

**Kh** = coeficiente de transmissão térmica das envoltentes horizontais [ $W/m^2\text{°C}$ ];

**Ah** = área da envolvente não vertical em contato com o ar exterior [ $m^2$ ];

**Ke** = coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados [ $W/m^2\text{°C}$ ];

**Ae** = área dos envidraçados [ $m^2$ ];

**0,75** = fator de correção do coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente que estão em contato com outras zonas do edifício ou com outro edifício;

**Ki** = coeficiente de transmissão térmica das envoltentes internas [ $W/m^2\text{°C}$ ]

**Ai** = área de fachada opaca interna [ $m^2$ ];

**0,024** = constante de transformação de W para Wh;

**GD** = 500  $\text{°Cdia}$  = graus-dia de aquecimento;

**Ap** = área útil do pavimento [ $m^2$ ];

**0,34** = constante de renovação do ar;

**Pd** = pé-direito médio [m];

**GA** = energia solar média incidente a norte na estação de aquecimento [ $kWh/m^2\text{ano}$ ];

**Sv** = fator solar do vidro;

$\square$  = fator de obstrução dos vãos envidraçados, que traduz o efeito da obstrução pelas caixilharias, paredes e obstáculos exteriores nos vãos envidraçados;

$\square$  = fator de utilização dos ganhos solares;

**f** = fator de orientação.

### 2.1.7. Cálculo do consumo energético máximo de referência para a estação de resfriamento:

$$NR_{ref} = \{ [ 0,36 ( 1,3\Delta T_{vref}K_{vref}A_v + \Delta T_{href}K_{href}A_h ) + G_{ref}A_e ] / A_p \} \times M$$

**NR<sub>ref</sub>** = necessidades energéticas de referência para estação de resfriamento [kWh/m<sup>2</sup>ano] (ver folha de cálculo 4)

**0,36** = valor resultante do produto de 12 horas por 30 dias do mês sobre 1000, que corresponde à transformação de W para kW;

**1,3** = fator de concentração de perdas térmicas de referência;

**ΔT<sub>vref</sub>** = diferença efetiva de temperatura de referência nas envolventes verticais opacas [°C];

**K<sub>vref</sub>** = coeficiente de transmissão térmica de referência das envolventes verticais exteriores e interiores [W/m<sup>2</sup>°C] (ver cap. 4 tabela 2);

**A<sub>v</sub>** = área da envolvente vertical exterior e interior opaca [m<sup>2</sup>];

**ΔT<sub>href</sub>** = diferença efetiva de temperatura de referência nas envolventes horizontais [°C];

**K<sub>href</sub>** = coeficiente de transmissão térmica de referência das envolventes horizontais exteriores e interiores [W/m<sup>2</sup>°C] (ver cap. 4 tabela 2);

**A<sub>h</sub>** = área da envolvente horizontal exterior e interior [m<sup>2</sup>];

**G<sub>Rref</sub>** = ganhos solares através dos envidraçados de referência [kWh/m<sup>2</sup>mês]:

Classe de inércia térmica	Ganhos solares
Fraca	6,5
Média	16
Pesada	17,5

### Anexo 2 – tabela 3

**A<sub>e</sub>** = área dos envidraçados exteriores e interiores [m<sup>2</sup>] – se maior do que 15% da A<sub>p</sub>, utilizar A<sub>e</sub> = 0,15A<sub>p</sub>;

**A<sub>p</sub>** = área útil do pavimento [m<sup>2</sup>];

**M** = 2,5 meses = duração do período de ensolação na estação de resfriamento;

### 2.1.8. Cálculo do consumo energético real para a estação de resfriamento:

O algoritmo de verão indica a energia útil que deve ser fornecida ao edifício ou zona independente para este mantenha uma temperatura interior média de 27°C.

Assim como para a estação de aquecimento, os valores nominais de resfriamento devem ser comparados com os de referência e não devem ser superiores a ele.

$$NR = [ (0,36) \sum_{i=1}^n fc A_p k_p (\Delta T_e)_p + \sum_{i=1}^n A_l G_l S_v / A_p ] \times IM$$

**NR** = necessidades energéticas reais para a estação de resfriamento [kWh/m<sup>2</sup>ano] (ver folha de cálculo 3)

**0,36** = valor resultante do produto de 12 horas por 30 dias do mês sobre 1000, que corresponde à transformação de W para kW;

**p** = quantidade de elementos construtivos distintos das fachadas exteriores e interiores, coberturas e pavimentos;

**fc** = fator de concentração das perdas térmicas; (ver cap 4 – tabela 9)

**A<sub>p</sub>** = área de cada tipo de fachada exterior e interior, coberturas e pavimentos [m<sup>2</sup>]

**K<sub>p</sub>** = coeficiente de transmissão térmica para cada tipo de fachada exterior e interior, coberturas e pavimentos [W/m<sup>2</sup>°C]

**ΔT<sub>e</sub>** = diferença efetiva de temperatura média para cada classe de inércia térmica ( I ), que engloba os efeitos da temperatura ambiente e da radiação solar incidente [°C];

**I** = quantidade de componentes construtivos diferentes de envidraçados;

**A<sub>l</sub>** = área de cada tipo de envidraçado [m<sup>2</sup>];

**G<sub>l</sub>** = energia solar média para cada orientação no período de resfriamento, considerando um fator solar de 100%;

**S<sub>v</sub>** = fator solar de cada tipo de vidro;

**M** = 2,5 meses = duração do período de insolação na estação de resfriamento;

**I** = fator de inércia do edifício:

Classe de Inércia	Fator de Inércia
Fraca	1,2
Média	1,0
Pesada	0,9

Anexo 2 – tabela 4

### 2.1.9. A inércia térmica

Para que sejam satisfeitas as exigências do regulamento, basta classificar o edifício dentro das classes de inércia fraca, média ou pesada. Para tal, segue o método de cálculo:

$$I = \sum MiSi/Ap$$

$A_p$  = área de pavimento em  $m^2$

$S_i$  = área do elemento em  $m^2$

$M_i$  = massa superficial útil do elemento em  $Kg/m^2$

$I$  = inércia térmica

Observação: para  $M_i$ , os seguintes critérios devem ser utilizados:

#### a) Se o elemento é da envolvente exterior:

- sem um material isolante,  $M_i$  é igual a metade de sua massa, não podendo ultrapassar  $150 \text{ Kg/m}^2$ ;
- sem material isolante e em contato com o solo,  $M_i$  é sempre igual a  $150 \text{ Kg/m}^2$ ;
- com material isolante de  $R < 0,5 \text{ m}^2\text{C/W}$ , estando ou não em contato com o solo,  $M_i$  é igual à massa do material situado do lado interno em relação ao isolante, não podendo exceder  $150 \text{ Kg/m}^2$ ;
- com material isolante de  $R > 0,5 \text{ m}^2\text{C/W}$ , estando ou não em contato com o solo,  $M_i$  igual a zero.

#### b) Se o elemento é de envoltentes interiores:

- sem revestimento ou com revestimento superficial com  $R < 0,14 \text{ m}^2\text{C/W}$ ,  $M_i$  é igual à massa total, nunca podendo ser superior a  $300 \text{ Kg/m}^2$ ;
- com revestimento superficial com  $0,14 \text{ m}^2\text{C/W} < R < 0,5 \text{ m}^2\text{C/W}$ ,  $M_i$  é igual a metade da massa, nunca podendo exceder  $300 \text{ Kg/m}^2$ ;
- em contato com o solo,  $M_i$  é sempre igual a  $150 \text{ Kg/m}^2$ ;
- com revestimento superficial com  $R > 0,5 \text{ m}^2\text{C/W}$ , estando ou não em contato com o solo,  $M_i$  igual a zero.

Anexo 2 - tabela 5

classe de Inércia	$I_a \text{ (Kg/m}^2\text{)}$
fraca	$I < 150$
média	$150 \leq I \leq 400$
pesada	$I > 400$

## Anexo 2 – tabela 6

C	tipos de laje	espessura (cm)	massa (Kg/m <sup>2</sup> )
	não maciça		12 a 14
		15	250
		> 15	300
maciça	qualquer espes.		300
madeira	qualquer espes.		50

## Anexo 2 - tabela 7

material (parede simples)	e (c/ reboco habitual) (cm)	massa int. (Kg/m <sup>2</sup> )	massa ext. (Kg/m <sup>2</sup> )
tijolo vazado	7	120	
	11	150	
	15	180	
	22	220	110
	27	240	120
	32		145
bloco conc. vazado	8	160	
	10	180	
	12	200	
	14	225	
	20		125
	25		140
parede maciça	10	200	
	12,5	250	
	15 ou +	300	150
concreto celular	10	90	
	12	100	
	17	125	
	20		70
	24		80
div. leve	qualquer	0	
madeira		0	20

Anexo 2 – tabela 8

tipo (parede ext. dupl.)	espessura (cm)	massa (Kg/m <sup>2</sup> )
2 panos de alvenaria s/ isolamento (tij.furado)	25	120
ou	30	140
bloco de concreto)	> 30	150
c/ isolam. Interior		0
c/ isolam. Exterior	25	240
	30	280
	> 30	300
parede c/ pano maciço		
s/ isolamento	qualquer	150
c/ isolam. Interior		0
c/ isolam. Exterior	qualquer	300
parede c/ isolamento na caixa de ar	(espessura no pano interior)	
	7	95
tijolo furado	11	125
	15 ou +	150
bloco conc. furado	8	135
	10 ou +	150
concreto celular	10	80
	12	90
maciça	qualquer	150

### 2.1.10. As pontes térmicas

A satisfação automática do regulamento, no que diz respeito às pontes térmicas, consiste na utilização de fachada cujo fator de concentração de perdas térmicas seja menor ou igual do que 1,3.

$$f_c = \frac{\sum k_i A_i}{k_{cr} \sum A_i}$$

$f_c$  = fator de concentração de perdas

$k_i$  = coeficiente de transmissão térmica de cada elemento

$A_i$  = área de cada elemento da fachada, medida pelo exterior

$k_{cr}$  = coeficiente de transmissão térmica superficial

O  $k_{cr}$  não é uma propriedade do fluido ou parede, mas um coeficiente geral que representa o efeito de vários fatores e é determinado a partir de equações teórico-empíricas bastante restritas. Para o caso do regulamento, o valor de  $k_{cr}$  equivale a 20 W/m<sup>2</sup>°C.

Em situação corrente de paredes exteriores e, desde que a área de heterogeneidade não seja superior a 30% da área total das paredes, os

casos que satisfazem o regulamento de maneira automática são os da tabela abaixo:

**Anexo 2 – tabela 9**

tipo de parede	fc
paredes sem isolante leve:	
com correção simples nas zonas dos pilares e vigas, incluindo o topo das lajes (1) (3)	1,3
com correção dupla nas zonas dos pilares e vigas, não incluindo necessariamente topo das lajes (2)1(3)	
sem correção	1,5
paredes duplas com isolante leve entre panos:	
com correção dupla na zona dos pilares e das vigas, que pode ser simples no topo das lajes ou ainda aias de estore interiores isoladas (1) (2) (3) (4):	
com 20mm de isolante leve	1,3
com 50mm de isolante leve	1,8
sem correção:	
com 20mm de isolante leve	1,6
com 50mm de isolante leve	2
paredes com isolante leve pelo interior:	
com correção simples pelo exterior nas zonas dos pilares e das vigas, incluindo o topo das lajes ou ainda caixas de estore interiores isoladas (1) (B)3(4)	
sem correção:	
com 20mm de isolante leve	1,4
com 50mm de isolante leve	1,6
parede com isolante leve pelo exterior (contínuo)1	

(1) correção simples nas zonas de concreto (pilares, v  
topo das lajes) corresponde a uma resistência térmica  
adicional de 0,06 m<sup>2</sup>°C/W

(2) correção dupla nas zonas de concreto corresponde a  
resistência térmica adicional de 0,12 m<sup>2</sup>°C/W

(3) admite-se que um revestimento de tijolo cerâmico 1  
(espessura da ordem dos 25mm a 40mm e uma única fiada  
furos) assegura uma resistência térmica adicional de (1  
m<sup>2</sup>°C/W e que um revestimento com tijolo furado de 0,07  
assegura uma resistência térmica adicional de 0,12 m<sup>2</sup>°C/W

(4) considera-se que uma caixa de estore interior é :  
quando os elementos que a separam do ambiente interior  
apresentam uma resist. térmica não inferior a 0,44 m<sup>2</sup>°C/W  
(valor correspondente a 0,02m de isolante leve com cor  
0,045W/m°C)

## 2.1.11. Coberturas

Tipo de cobertura	esp. de aque
T	TA2
	TB2
	TC2
D	DA2
	DB2
	DC4
	DD4
	DE10
I	IA4
	IB4
	IC4
	ID4

T - cobertura horizontal (colocada sobre a esteira horizontal)  
 D - cobertura inclinada colocada sobre a esteira horizontal  
 I - cobertura inclinada colocada sobre as vertentes  
 A - espuma rígida de poliuretano  
 B - poliestireno extrudido  
 C - poliestireno expandido com lã mineral em placas  
 D - aglomerado negro de cimento com lã mineral em mantas  
 E - argila expandida  
 # - espessura do material

Anexo 2 – tabela 10

## 2.1.12. Paredes

## Anexo 2 – tabela 11

$1/h_e + 1/h_i$	paredes exteriores
envolvente vertical	0,17
envolvente horizontal (fluxo ascendente)	0,14
envolvente horizontal (fluxo descendente)	0,22
$1/h_e + 1/h_i$	paredes interiores
envolvente vertical	0,24
envolvente horizontal (fluxo ascendente)	0,2
envolvente horizontal (fluxo descendente)	0,34

$k = 1/h_e + e/\lambda_n + 1/h_i$

material	$\lambda$ (W/m°C)	d (Kg/m3)	$1/\lambda$
água	0,58	1000	1,724
algodão	0,06	80	16,667
amianto	0,15	580	6,667
amianto projetado	0,05	160	20,000
areia seca	0,49	1600	2,041
areia c/ 10% de água	2,35	variável	0,426
argamassa celular	0,3	600	3,333
	0,51	1000	1,961
	0,81	1400	1,235
argila	0,72	1720	1,389
asfalto puro	0,7	2100	1,429
asfalto com areia	1,15	2100	0,870
<b>Borrachas:</b>			
esponjosa	0,035	80	28,571
formofenólica	0,4	1300	2,500
mastique para juntas	0,4	1350	2,500
poliamida	0,4	1100	2,500
policlorure de vinil	0,2	1350	5,000
poliéster	0,4	1550	2,500
polietileno	0,4	1000	2,500

Cimentos:			
1 cal. ; 3 areia ; 1,4 água	0,67	1820	1,493
1 cim. ; 2 areia seca	0,76	2180	1,316
1 cim. ; 5 areia ; 9 água	1,28	1900	0,781
1 cim. ; 4 cal ; 12 areia 2% água	0,53	1870	1,887
cimento - amianto	0,65	1600	1,538
	0,95	2000	1,053
cimento - amianto - celulose	0,46	1600	2,174
cimento agregado	1,05		0,952
cimento de gesso	0,34	740	2,941
cimento em pó (portland)	0,29	1505	3,448
concreto aparente	1,65	2200	0,606
	1,91	2400	0,524
concreto armado	1,75	1005	0,571
	1,28	2000	0,781
concreto comum	1,5	2200	0,667
	1,74	2400	0,575
concreto comum cavernoso	1,4	1850	0,714
con. comum cavern. c/ 50% de calcárea	1,15	1800	0,870
	0,17	600	5,882
	0,26	800	3,846
concreto c/ vermiculite ou pedra pome	0,33	1000	3,030
	0,43	1200	2,326
	0,5	1400	2,000
placa de concreto c/ vermiculite fabricado em usina		400	5,263
concreto c/ argila expandida	0,85	1500	1,176
	1,05	1700	0,952
concreto c/ escória expandida granulada e areia	0,52	1500	1,923
concreto c/ escória expandida s/ areia de finos	0,44	1100	2,273
	0,1	300	10,000
	0,12	400	8,333
concreto celular autoclavado	0,16	600	6,250
	0,21	800	4,762
	0,27	1000	3,704
concreto celular (bloco)	0,05	450	20,000
	0,5	600	2,000
concreto de cascalho	1,98	1800	0,505
concreto s/ finos	0,74	1600	1,351
	0,93	1800	1,075
concreto c/ agregado pesado de escória de alto forno		2300	0,714
conc. c/ agreg. pes. de escória de alto forno cavernoso		1800	1,429

Outros:			
cortiça comprimida	0,1	500	10,000
cortiça em placas	0,04	100	25,000
	0,05	200	20,000
cortiça expandida	0,037	150	27,027
	0,045	250	22,222
cortiça moída	0,043	150	23,256
	0,046	200 (0°C)	21,739
diatomita	0,058	200 (100°C)	17,241
	0,071	200 (200°C)	14,085
	0,078	290 (204°C)	12,821
diatomita pulverizada	0,085	290 (315°C)	11,765
	0,041	290 (-7°C)	24,390
	0,033	210	30,303
eucatex frigorífico	0,033	210	30,303
eucatex isolante	0,05	300	20,000
feltro	0,05	160	20,000
feltro asfáltico	0,14	1200	7,143
feltro de crina	0,03	270	33,333
feltro de lã	0,04	150	25,000
fibra de vidro	0,03	70	33,333
gesso celular	0,5	128	2,000
gesso (placa)	0,35	750	2,857
	0,35	1500	2,857
gesso c/ catrão antichama	0,35	900	2,857
gesso c/ fibras minerais	0,35	950	2,857
gesso projetado	0,5	1200	2,000
gesso c/ vermiculite 1:1	0,3	850	3,333
gesso c/ vermiculite 1:2	0,25	600	4,000
lã de escória	0,03	110	33,333
lã de ovelha	0,04	136	25,000
lã de rocha	0,03	100	33,333
	0,04	130	25,000
	0,04	190	25,000
lã de vidro	0,05	24	20,000
	0,04	64	25,000
	0,04	76	25,000
	0,03	96	33,333
lã vegetal (kapok)	0,038	150 (0°C)	26,316
	0,046	150 (50°C)	21,739

Madeiras:			
abeto, cedro	0,12	400	8,333
balsa	0,05	90	20,000
bétula, pinho silvestre, pinho marítimo	0,15	500	6,667
carvalho, frutíferas	0,23	700	4,348
pinho perpendicular à fibra	0,14	550	7,143
pinho paralelo à fibra	0,3	900	3,333
fibras de madeira	0,06	140	16,667
lascas de madeira	0,06	140	16,667
Painéis de Madeira:			
aglomerado mole isolante	0,05	300	20,000
painel de fibra de madeira isolante	0,06	300	16,667
painel de fibra de madeira duro e extraduro	0,2	900	5,000
	0,1	400	10,000
painel de fibra de madeira glomerada	0,12	500	8,333
	0,14	600	7,143
	0,17	700	5,882
	0,2	800	5,000
painel de fibra de madeira aglomerada e compensada	0,24	1000	4,167
Metais:			
aço	52	7780	0,019
aço inoxidável	46	7800	0,022
alumínio	230	2700	0,004
chumbo	35	11340	0,029
cobre	380	8930	0,003
duralumínio	160	2800	0,006
ferro fundido	56	7500	0,018
ferro puro	72	7870	0,014
latão	110	8400	0,009
zinco	112	7130	0,009
Outros:			
palha comprimida	0,12	350	8,333
papelão	0,08	650	12,500
papelão corrugado, 4 camadas por polegada	0,1	170	10,000
papelão laminado	0,08	650	12,500
parede de tijolo, nova	1,4	1960	0,714
parede de tijolo, seca	0,43	1850	2,326
parede de tijolo, velha	0,98	1763	1,020
penas	0,035	80	28,571
Pedras:			
ardósia	2,1	2700	0,476
arenito	1,28	2000	0,781
basalto	3,5	2900	0,286
calcáreo	1,4	2000	0,714
gnaisse	3,5	2600	0,286
granito	3,5	2700	0,286
gres	1,98	2400	0,505
mármore	3,26	2700	0,307
pedrerneira	3,5	2700	0,286
pedregulho	2,35	1900	0,426
pórfiro	2,9	2500	0,345

Plásticos Alveolares:			
	0,04	11	25,000
	0,04	15	25,000
poliestireno expandido moldado	0,04	18	25,000
	0,04	23	25,000
	0,04	30	25,000
poliestireno expandido moldado por via úmida	0,42	14	2,381
	0,04	14	25,000
poliestireno expandido termocomprimido por via úmida	0,04	18	25,000
	0,04	23	25,000
	0,04	30	25,000
poliestireno estruturado:			
placas s/ pele na superfície	0,03	30	33,333
placas c/ pele na superfície	0,03	32	33,333
	0,03	38	33,333
espuma rígida de poliuretano:			
placas ou blocos extensos contínuos	0,03	35	33,333
placas ou blocos descontínuos	0,03	35	33,333
	0,04	40	25,000
espumas formofenólicas	0,04	50	25,000
	0,04	70	25,000
	0,04	95	25,000
outros materiais plásticos alveolares	0,05	40	20,000
Outros:			
serragem	0,07	200 (0°C)	14,286
	0,076	200 (50°C)	13,158
telha de barro moldada (ou cerâmica)	0,93		1,075
telha de fibrocimento	0,65		1,538
	0,95		1,053
terra argilosa seca	0,52	1700	1,923
terra argilosa úmida	0,6	1800	1,667
terra comprimida (bloco)	1,15	1800	0,870
tij. de argila seca, à mão	0,4	1570	2,500
tij. de argila seca, à máquina	0,49	1620	2,041
tij. de argila úmida	1,16		0,862
tijolo de carvão 89% C	1,58	1190	0,633
tij. de cimento	1,16		0,862
tijolo de concreto (8 furos) 19 x 19 x 39	0,91	1700	1,099
tijolo maciço prensado	0,72	1600	1,389
vidro	0,8	2200	1,250
vidro de quartzo	1,63		0,613
Fonte:			
FROTA, Anésia B. e SCHIFFER, Sueli R. Manual de Conforto Térmico. Studio :			
COSTA, Ennio C. da. Física Aplicada à Construção - Conforto Térmico. Edit			

### 2.1.13. Envidraçados e sombreamentos

Os envidraçados desempenham um importante papel no comportamento térmico dos edifícios. Através deles é que ocorrem as maiores perdas de calor por unidade de área e também os maiores ganhos de calor. Contudo, esses ganhos são benéficos no inverno, mas não no verão.

**Anexo 2 – tabela 12**

tipo de coberturas	terraço sem teto falso	desvão não ventilado	desvão ventilado
cor	${}^2Te$	${}^2Te$	${}^2Te$
escura	11,5	10	7,5
clara	4	3	2

**Anexo 2 – tabela 13**

	leve	média	pesada
${}^2Te$ (°C)	9,5	7	6,5

**Anexo 2 – tabela 14**

$GA$ a norte ( $KWh/m^2$ )=	80
-----------------------------	----

**Anexo 2 – tabela 15**

orientação	$f$ (fator de orientação)
N	1
NW	0,9
W	0,8
SW	0,5
S	0,4
SE	0,5
E	0,8
NE	0,9
H	1,3

Anexo 2 – tabela 16

orientação	GR
N	22
NW	28,6
W	33
SW	33
S	26,4
SE	33
E	33
NE	28,6
H	61,6

Anexo 2 – tabela 17

tipo de vidro	fator solar
vidro simples:	
incolor (6mm)	0,85
bronze (5mm)	0,63
bronze (8mm)	0,51
cinza (5mm)	0,64
cinza (8mm)	0,54
verde (6mm)	0,57
refletante bronze (6mm)	0,39
refletante claro (6mm)	0,56
rosa (6mm)	0,78
vidro duplo:	
incolor + incolor (5mm + 5mm)	0,75
rosa + incolor (5mm + 5mm)	0,65
bronze + incolor (5mm + 5mm)	0,54
cinza + incolor (5mm + 5mm)	0,54
refletante claro + incolor (6mm + 6mm)	0,49
refletante bronze + incolor (6mm + 6mm)	0,32

Anexo 2 – tabela 18

fator solar da proteção de vãos envidraçados	vidro simples			vidro duplo		
	cor da proteção			cor da proteção		
tipo de proteção	clara	média	escura	clara	média	escura
proteções exteriores:						
portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
persiana de madeira	0,05	0,08	0,1	0,04	0,05	0,07
persiana metálica						
ou plástica	0,07	0,1	0,13	0,04	0,07	0,09
estore veneziano						
de madeira		0,11			0,08	
estore veneziano						
metálico		0,14			0,09	
estore de lona opaco	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
estore de lona opaco						
pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,1	0,12	0,14
estore de lona						
muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,2
proteções interiores:						
estore de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
cortinas opacas	0,34	0,45	0,57	0,39	0,54	0,63
cortinas ligeiramente						
transparentes	0,36	0,47	0,59	0,39	0,54	0,63
cortinas muito						
transparentes	0,39	0,5	0,61	0,42	0,55	0,68
portadas de madeira	0,3	0,4	0,5	0,35	0,46	0,58
persianas de madeira	0,35	0,45	0,57	0,4	0,55	0,65
pala(ou equivalente						
c/ sombreamento total						
na est. de resfriamento		0,25			0,22	