

UNESP

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

Guaratinguetá

1999



CARO LEITOR NÃO  
PERDIU O LIVRO

O Uso do EPS na Construção Civil: Uma Opção para a  
Conservação de Energia

ZILMARA CRISTIE VOLPE GROTE

***"Estudo do Uso do EPS na  
Construção Civil: Uma Opção  
para a Conservação de  
Energia"***

**ZILMARA CRISTIE VOLPE GROTE**

Orientador Prof. Dr. José Luiz Silveira

**106**

1110000437



DE GARANTINDO A



CARO LEITOR NÃO  
RISQUE O LIVRO

O USO DO EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA OPÇÃO PARA A  
CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

ZILMARA CRISTIE VOLPE GROTE

ZILMARA CRISTIE VOLPE GROTE

Dissertação apresentada à  
Faculdade de Engenharia de  
Guaratinguetá da Universidade  
Estadual Paulista, para a obtenção  
do título de Mestre em Engenharia  
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Luz Silveira

Guaratinguetá  
1999

FACULDADE DE ENGENHARIA  
DE GUARATINGUETÁ

BIBLIOTECA

00437

437

23/03/01

R\$20,00

Doação

T69(043)

G 881 e

G881e Grote, Zilmara Cristie Volpe  
 Estudo do uso do EPS na construção civil: uma opção para a conservação de energia/ Zilmara Cristie Volpe Grote. Guaratinguetá, 1999.  
 143 f.: il., 30cm  
 =  
 Bibliografia:f139-42  
 Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 1999.  
 Orientador: Prof. Dr. José Luz Silveira  
 =  
 1. Poliestireno expandido. 2. Construção civil. 3. Energia, conservação de. I Título

CDU

BIBLIOTECA  
 DE GUARATINGUETÁ  
 FACULDADE DE ENGENHARIA



**UNESP UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**Campus de Guaratinguetá**

**“ESTUDO DO USO DO EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL:  
UMA OPÇÃO PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA”**

**ZILMARA CRISTIE VOLPE GROTE**

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”**


**ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA**

**APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**



**Prof. Dr. Paulo Magalhães Filho**  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**



**Prof. Dr. JOSÉ LUZ SILVEIRA**  
Orientador / Unesp-Feg



**Prof. Dr. JOÃO ANDRADE DE CARVALHO JÚNIOR**  
Unesp-Feg



**Prof. Dr. MESSIAS BORGES SILVA**  
FAENQUIL

*Agosto 1999*

## DADOS CURRICULARES

### ZILMARA CRISTIE VOLPE GROTE

NASCIMENTO 14.03.71 – Juiz de Fora / MG

FILIAÇÃO Arnaldo Paschoal Volpe  
Rosa Tomaz Volpe

1991/1996 Curso de Graduação  
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá –  
UNESP

1997/1999 Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,  
nível de Mestrado, área de concentração em  
Transmissão e Conversão de Energia na Faculdade  
de Engenharia de Guaratinguetá

Alexandre e Tais,  
minhas fontes de inspiração.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me permitir a alegria de viver.

Agradeço ao Prof. Dr. José Luiz Silveira que sempre esteve comigo nesse período de aprendizagem e amadurecimento da minha vida, como orientador e amigo.

Agradeço à minha família, meu marido, minha filha e meus amigos por existirem juntos com a minha existência.

Agradeço aos funcionários da FEG, que sempre me auxiliaram quando eu precisei.

Agradeço à empresa BASF, pela colaboração e contribuição com os dados técnicos usados na dissertação.

E finalmente agradeço à Zil,

por amar, ter paixão, ter força, ter coragem e encarar o mundo como eu gostaria de ser.

à Alexandre e Taís,  
minhas fontes de inspiração.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me permitir a alegria de viver.

Agradeço ao *Prof. Dr. José Luz Silveira* que sempre esteve comigo nesse período de aprendizagem e amadurecimento da minha vida, como orientador e amigo.

Agradeço à minha família, meu marido, minha filha e meus amigos por existirem juntos com a minha existência.

Agradeço aos funcionários da FEG, que sempre me auxiliaram quando eu precisei.

Agradeço à empresa BASF, pela colaboração e contribuição com os dados técnicos usados na dissertação.

E finalmente agradeço à *Zil*,  
por amar, ter paixão, ter força, ter coragem e encarar  
o mundo como um lugar para ser feliz.

## APOIO FINANCEIRO

"Aprender  
é descobrir  
aquilo que você já sabe.

Fazer é demonstrar que  
você o sabe.

Ensinar é lembrar aos outros  
que eles sabem tanto quanto você.

Vocês são todos aprendizes,  
fazedores, professores."

*Richard Bach*

"Nunca lhe dão  
um desejo sem também  
lhe dar  
o poder de realizá-lo.

Você pode  
ter de trabalhar por ele,  
porém."

*Richard Bach*

Este trabalho contou com apoio do:  
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico



<b>SUMÁRIO</b>	76
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	76
<b>LISTA DE TABELAS</b>	78
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b>	87
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	87
<b>RESUMO</b>	88
<b>ABSTRACT</b>	93
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</b>	<b>18</b>
1.1. Delimitação do Objeto de Estudo	18
1.1.1 Estabelecimento do problema	18
1.1.2 Objetivos	20
1.2. Estrutura da Dissertação	20
<b>CAPÍTULO 2 - EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO)</b>	<b>23</b>
2.1. Considerações Sobre o EPS	23
2.1.1 Origem e evolução do emprego	23
2.1.2 Generalidades e definições	24
2.2. Características do EPS	26
2.2.1 Características exigíveis	26
2.2.2 Propriedades físicas	27
2.2.3 Propriedades químicas	33
2.2.4 Aspectos biológicos	35
2.2.5 Comportamento ignífero	36
2.2.6 Resistência ao envelhecimento e performance a longo prazo	39
2.3. Processo de Fabricação do EPS	41
2.4. Aplicações do EPS	45
2.5. Aspectos Construtivos	50
2.5.1 Uso do bloco de EPS (Styroblock)	50
2.5.2 Uso de placas de EPS	54
<b>CAPÍTULO 3 – FUNDAMENTOS TÉRMICOS</b>	<b>57</b>
3.1. Conforto Térmico	57
3.1.1 Condições humanas	59
3.1.2 Condições de exposição	60
3.1.3 Condições da edificação	62
3.1.4 Equipamentos de aquecimento e refrigeração	63
3.2. Carga Térmica	66
3.2.1 Método para cálculo de carga térmica	67



LISTA	3.3. Conservação de Alimentos	76
	3.3.1 Generalidades	76
Figura 1.1	3.3.2 Influências da temperatura, umidade relativa e movimentação do ar	77
Figura 2.1	3.3.3 Métodos de congelamento e descongelamento	78
Figura 2.2	3.3.4 Ambientes para conservação de alimentos	78
	<b>CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO 1: Análise comparativa entre materiais empregados na Construção de uma Câmara Frigorífica</b>	<b>87</b>
	4.1. Cálculo da Potência Frigorífica	87
	4.1.1 Cálculo calor de condução	88
	4.1.2 Cálculo calor de infiltração	93
	4.1.3 Cálculo calor do produto	93
	4.1.4 Cálculo calor de iluminação	93
	4.1.5 Cálculo calor de pessoas	93
	4.1.6 Cálculo do calor a ser retirado	93
	4.2 Cálculo para Verificação de Condensação nas Interfaces	96
	4.3 Orçamento dos Sistemas Propostos	99
	4.3.1 Custo da construção	99
	4.3.2 Custo do equipamento de refrigeração	102
	4.4 Análise de Viabilidade Econômica	103
	<b>CAPÍTULO 5 - ESTUDO DE CASO 2: Análise comparativa entre materiais empregados na Construção de um Edifício Comercial</b>	<b>109</b>
	5.1 Análise da Carga Térmica	110
	5.1.1 Calor de condução – Calor sensível	110
	5.1.2 Calor devido a insolação	115
	5.1.3 Calor do dutos – Calor sensível	118
	5.1.4 Calor devido as pessoas – Calor sensível e latente	119
	5.1.5 Calor devido aos equipamentos – Calor sensível e latente	119
	5.1.6 Calor devido à infiltração – Calor sensível e latente	119
	5.1.7 Calor devido à ventilação – Calor sensível e latente	120
	5.1.8 Cálculo do calor a ser retirado	120
	5.2 Orçamento do Sistemas Propostos	128
	5.2.1 Custo da obra civil	128
	5.2.2 Custo do equipamento de refrigeração	130
	5.3 Análise de Viabilidade Econômica	131
	<b>CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>138</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>140</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	- Fluxograma da estrutura da dissertação	22
Figura 2.1	- Condutividade Térmica do EPS em função da densidade a uma temperatura de 10 °C	27
Figura 2.2	- Comportamento do EPS ao longo do tempo com densidade de 15 kg/m <sup>3</sup> sob vários carregamentos	29
Figura 2.3	- Comportamento do EPS ao longo do tempo com densidade de 30 kg/m <sup>3</sup> sob vários carregamentos	29
Figura 2.4	- Produção da Matéria Prima	41
Figura 2.5	- Pré-expansão	42
Figura 2.6	- Envelhecimento intermediário	43
Figura 2.7	- Moldagem	43
Figura 2.8	- Processo do EPS	44
Figura 2.9	- Caixaão perdido	45
Figura 2.10	- Laje impermeabilizada com placas de EPS para isolamento térmico	46
Figura 2.11	- Placas de EPS é aplicado sobre a laje do edificio	46
Figura 2.12	- Laje Pré-fabriacada com Tavelas de EPS	48
Figura 2.13	- EPS aplicado em fundação de estradas	49
Figura 2.14	- Blocos de EPS - Styrobloc	50
Figura 2.15	- Parede de Styrobloc	50
Figura 2.16	- Detalhe dos recortes para encaixe da ferragem do Styrobloc	51
Figura 2.17	- Detalhe da ferragem e do concreto interno do Styrobloc	52
Figura 2.18	- Detalhes de uma obra com Styrobloc	53
Figura 2.19	- Placas de EPS	54
Figura 2.20	- Alvenaria com isolamento exterior de EPS	56
Figura 3.1	- Carta bioclimática para o Brasil	58
Figura 3.2	- Ângulos de altitude solar, azimute solar e incidência	61
Figura 3.3	- Equipamentos de refrigeração	65
Figura 3.4	- Energia do sol incidindo sobre uma superficie transparente	71
Figura 3.5	- Esquema de um sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica	82
Figura 3.6	- Ciclo de refrigeração por compressão	82
Figura 4.1/a	- Corte da parede de alvenaria	88
Figura 4.1/b	- Analogia Elétrica da parede de alvenaria	88
Figura 4.2	- Dimensão da câmara frigorífica	89
Figura 4.3	- Corte do piso da câmara frigorífica considerando alvenaria com tijolos maciços, blocos de concreto ou blocos cerâmicos	90
Figura 4.4	- Corte do teto da câmara frigorífica considerando alvenaria com tijolos maciços, blocos de concreto ou blocos cerâmicos	90
Figura 4.5/a	- Corte da parede de Styrobloc	91
Figura 4.5/b	- Analogia Elétrica da parede de Styrobloc	91



Figura 4.6	– Gráfico da potência frigorífica em relação a variação da temperatura externa	95
Figura 4.7	– Perfil de temperatura e pressões na alvenaria de tijolos maciços	97
Figura 4.8	– Perfil de temperatura e pressões na alvenaria de Styroblock	97
Figura 4.9	– Análise comparativa em termos de custo de armazenamento	105
Figura 4.10	– Análise dos gastos com eletricidade em função da tarifa de eletricidade	106
Figura 4.11	– Economia anual esperada em função da tarifa de eletricidade	107
Figura 5.1	– Vista tridimensional do edifício comercial	109
Figura 5.2/a	– Corte da parede de alvenaria	110
Figura 5.2/b	– Analogia Elétrica da parede de alvenaria	111
Figura 5.3	– Planta baixa do prédio comercial	112
Figura 5.4	– Corte do piso da câmara frigorífica considerando alvenaria com tijolos maciços, blocos de concreto ou blocos cerâmicos	113
Figura 5.5	– Corte do teto da câmara frigorífica considerando alvenaria com tijolos maciços, blocos de concreto ou blocos cerâmicos	113
Figura 5.6/a	– Corte da parede de Styroblock	114
Figura 5.6/b	– Analogia Elétrica da parede de Styroblock	114
Figura 5.7	– Dimensão lateral dos dutos	118
Figura 5.8	– Gráfico da carga térmica total em função da temperatura externa variando o tipo de material, com e sem isolamento	122
Figura 5.9	– Influência das placas de EPS na carga térmica para os materiais: tijolo maciço, tijolo cerâmico e bloco de concreto	123
Figura 5.10	– Influência da espessura das placas de EPS aplicadas sobre os materiais: tijolo maciço, tijolo cerâmico e bloco de concreto	124
Figura 5.11	– Porcentagem das parcelas que compõe a carga térmica total	125
Figura 5.12	– Porcentagem das parcelas de insolação e condução que compõem a carga térmica total com EPS	126
Figura 5.13	– Gráfico da carga térmica total em função do número de andares	126
Figura 5.14	– Influência da parcela de condução e insolação em relação as paredes e teto	127
Figura 5.15	– Gráfico do custo de obra civil em relação ao número de andares	130
Figura 5.16	– Gráfico dos gastos anuais em função da tarifa de eletricidade	132
Figura 5.17	– Gráfico do custo de isolamento em relação ao período de amortização	133
Figura 5.18	– Gráfico do custo unitário de isolamento conforme o número de andares	134
Figura 5.19	– Gráfico da economia anual esperada pela da tarifa de eletricidade	135
Figura 5.20	– Gráfico da diferença do período de amortização do capital investido	137

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	– Características exigíveis para o Poliestireno Expandido	26
Tabela 2.2	– Comportamento do EPS em relação a temperatura	30
Tabela 2.3	– Resistência dos materiais compostos de EPS à alguns produtos químicos	34
Tabela 2.4	– Comportamento frente ao fogo de materiais a base de EPS	36
Tabela 2.5	– Componentes dos gases de combustão à certas temperaturas	38
Tabela 3.1	– Valores de calor em função do tipo de atividade	59
Tabela 3.2	– Capacidade de refrigeração dos aparelhos	65
Tabela 3.3	– Condutividade térmica	69
Tabela 4.1	– Calor a ser retirado da câmara frigorífica - Carga Térmica	94
Tabela 4.2	– Composição de custos para o método usando alvenaria comum	100
Tabela 4.3	– Composição de custos para o método usando Styroblock	101
Tabela 4.4	– Custo do maquinário de refrigeração em relação a potência frigorífica	102
Tabela 5.1/a	– Dados do local	115
Tabela 5.1/b	– Características do verão local	116
Tabela 5.1/c	– Características da construção	116
Tabela 5.2	– Calor a ser retirado do edifício – Carga Térmica	121
Tabela 5.3	– Composição de custos para o método usando alvenaria comum e Styroblock para dez andares	129
Tabela 5.4	– Custo do maquinário de refrigeração em relação a carga térmica para dez andares	130

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- A - Alvenaria convencional (tijolos maciços)
- ABRAPEX - Associação Brasileira do Poliestireno Expandido
- ACEPE - Associação de Controle de Qualidade de Espumas de Poliestireno Expandido
- ARMAZ - Armazenamento
- D - Dutos
- cond - Condução
- EPS - Poliestireno Expandido
- e - Exterior
- ilum - Iluminação
- i - Interior
- infiltr - Infiltração
- J - Janela
- pers - Pessoas
- prod - Produto
- Sty - Styroblock
- n - Número de pessoas / lâmpadas [pessoa / lâmpada]
- Pol - Tarifa de eletricidade [US\$/kWh]
- Pf - Potência frigorífica [kW]
- Q<sub>e</sub> - Fluxo de Calor [kW]
- q - Calor liberado por pessoa [kJ/h]
- R - Economia anual esperada [US\$]
- R<sub>e</sub> - Resistência equivalente do material [h°C/kcal]
- r - Taxas anual dos juros [%] ou Calor latente de congelamento [kJ/kg]
- Req - Resistência equivalente [h°C/kcal]

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $T_p$  - Temperatura inicial do produto ( $^{\circ}\text{C}$ ) ou Temperatura do ambiente
- A - Área [ $\text{m}^2$ ]
- C - Calor específico do produto antes do congelamento [ $\text{kJ}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}$ ]
- C' - Calor específico do produto depois do congelamento [ $\text{kJ}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}$ ]
- $C_{\text{ARMAZ}}$  - Custo de armazenamento do produto [ $\text{US}\$/\text{hm}^3$ ]
- $C_{\text{ISOL}}$  - Custo unitário de isolamento [ $\text{US}\$/\text{hm}^2$ ]
- COP - Coeficiente de performance [adimensional]
- e - Espessura [m]
- $E_c$  - Eletricidade consumida na câmara frigorífica [kW]
- f - Fator de anuidade [1/ano]
- G - Peso do produtos em trânsito [kg/dia]
- h - Coeficiente de convecção [ $\text{kJ}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ ]
- H - Período equivalente de operação [h/ano]
- $I_{\text{CIVIL}}$  - Investimento de capital em obras civis [US\$]
- $I_{\text{MAQ}}$  - Investimento de capital em maquinário [US\$]
- K - Condutividade térmica [ $\text{kJ}/\text{mh}^{\circ}\text{C}$ ]
- k - Diferencial do período de amortização do capital investido [anos]
- n - Número de pessoas / lâmpadas [pessoa / lâmpada]
- Pel - Tarifa de eletricidade [ $\text{US}\$/\text{kWh}$ ]
- Pf - Potência frigorífica [kW]
- $Q_n$  - Fluxo de Calor [kW]
- q - Calor liberado por pessoa [kJ/h]
- R - Economia anual esperada [US\$]
- $R_n$  - Resistência equivalente do material [ $\text{h}^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$ ]
- r - Taxas anual dos juros [%] ou Calor latente de congelamento [ $\text{kJ}/\text{kg}$ ]
- Req - Resistência equivalente [ $\text{h } ^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$ ]

- T - Temperatura [°C]
- $T_i$  - Temperatura inicial do produto [°C] ou Temperatura do ambiente interno [°C]
- $T_o$  - Temperatura de congelamento do produto [°C]
- $T_{fo}$  - Temperatura final do produto [°C]
- $T_e$  - Temperatura do ambiente externo [°C]
- U - Coeficiente global de transmissão de calor [kcal/h m<sup>2</sup> °C]
- UE - Umidade específica do ar [g/kg]
- V - Vazão de ar [m<sup>3</sup>/h]
- $V_{\text{ARMAZ}}$  - Volume de produto armazenado [m<sup>3</sup>]
- $V_{\text{câmara}}$  - Volume da câmara frigorífica [m<sup>3</sup>]
- W - Potência da Lâmpada [W]

#### Símbolos Gregos

- $\Delta H$  - Diferença de entalpica [kJ/kg]
- $\Delta T$  - Diferença de temperatura [°C]
- $\tau$  - número de horas de funcionamento de equipamento por dia [h/dia]
- $\gamma$  - Peso específico [kg/m<sup>3</sup>] ou Ângulo de altitude solar
- $\alpha$  - Ângulo de azimute solar
- $\theta$  - Ângulo de incidência

**PALAVRAS-CHAVE:** EPS, poliestireno expandido, conservação de energia, análise técnica, análise econômica, construção civil, carga térmica.

**GROTE, Z. C. V.** *Estudo do uso do EPS na construção civil: uma opção para a conservação de energia.* Guaratinguetá, 1999. 143p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.

## **RESUMO**

Neste trabalho analisa-se a conservação de energia elétrica como consequência do uso de um material isolante (EPS - Poliestireno Expandido) como elemento construtivo para isolamento de paredes e lajes na construção de uma câmara frigorífica e de um edifício comercial.

Visa-se a diminuição da potência frigorífica de refrigeração do maquinário utilizado em câmaras frigoríficas e condicionadores de ar, a fim de buscar uma economia nos gastos anuais com energia elétrica, considerando o fato de tal material apresentar condutividade térmica aproximadamente cinco vezes menor em relação a alvenaria de tijolos comuns.

Busca-se a viabilidade do uso desse material alternativo como elemento construtivo e faz-se o levantamento de custos/benefícios comparativamente entre os sistemas construtivos considerados (alvenaria comum e alvenaria com o isolamento proposto).

Finalmente, conclui-se com os aspectos relevantes associados as vantagens do uso do EPS na construção civil, tanto do ponto de vista energético como do ponto de vista econômico.

**PALAVRAS-CHAVE:** EPS, poliestireno expandido, conservação de energia, análise técnica, análise econômica, construção civil, carga térmica.

**GROTE, Z. C. V.** *Study of the EPS in the civil construction: na option for the energy saving.* Guaratinguetá, 1999. 143p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.

## **ABSTRACT**

In this work, the electrical energy savings are analyzed as a consequence of the use of an insulating material (EPS – Expandable Polystyrene) like a constructive element for isolation of walls and flagstones in the construction of a refrigeration room and commercial building.

The decrease of the frigorific power in the refrigeration system used in storing room and in air conditioning, in order to search a reduction in the annual costs with electric energy, considering which the material presents thermal conductivity approximately five times lesser in relation to conventional constructions methods.

The viability of the of this alternative material is looked for, as constructive element and to be makes comparatively the costs/benefits rising among the considered constructive systems (conventional and proposed insulation materials).

In conclusion, are related import aspects of the advantages of the use of EPS in the civil construction, so much of the energy and economic point of view.

**KEYWORDS:** EPS, expandable polystyrene, energy saving, analysis technical, analysis economic, civil construction, thermal load.

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo delimita-se o objeto de estudo da pesquisa e as questões que o complementam. São apresentados os objetivos, contexto, importância e a estrutura da dissertação.

### 1.1. DELIMITAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

#### 1.1.1. Estabelecimento do Problema

Assim como outras engenharias, tais como mecânica e elétrica, a engenharia civil vem constantemente procurando novos tipos de materiais para a construção de sistemas. Essa constante busca de materiais alternativos se justifica pela necessidade de redução de custos, incluindo aqueles associados ao consumo de eletricidade, fator primordial para a solução de problemas sociais e aumento da competitividade da indústria civil.

A redução de custos pode se dar na construção propriamente dita, através do uso de materiais alternativos ou pelo gerenciamento do consumo de energia associado ao sistema, quando em fase de projeto e de operação. Neste último aspecto destacam-se os ambientes com necessidade de refrigeração ou aquecimento, onde geralmente tem-se um grande consumo de energia elétrica, principalmente em se tratando de sistemas de refrigeração (ou bombas de calor) por compressão de vapor.

Vários são os estudos de novas fontes de energia, visto que os recursos naturais disponíveis são cada vez mais escassos, porém não se pode descartar os estudos para melhor utilização da energia, de modo a buscar o seu uso racional e gerenciado.



Nesse sentido, o material de construção isolante EPS (poliestireno expandido), aplicado na construção de um ambiente a ser refrigerado (para conservação de alimentos ou conforto térmico), tem merecido uma especial atenção, principalmente pelas suas características nitidamente vantajosas, visto que uma parede construída utilizando material a base de poliestireno expandido (EPS), possui condutividade térmica cerca de até cinco vezes menor (dependendo da massa específica) quando comparado com uma parede de material convencional (alvenaria). Este estudo envolve o conceito de uso racional de energia com relação aos cálculos de carga térmica e conservação de eletricidade.

Neste enfoque podem ser levantadas diversas perguntas que auxiliem no desenvolvimento da pesquisa:

- Quais as vantagens de se isolar termicamente uma câmara de armazenagem ou um edifício?
- Quais são as possibilidades do uso do EPS na construção civil?
- Qual o custo de se isolar uma câmara de armazenagem de um edifício com materiais a base de EPS?
- Qual o retorno econômico que esse isolamento traz em relação ao seu investimento inicial?
- Quanto de conforto térmico o isolamento traz para os usuários?
- Quais as vantagens do uso dos blocos ou placas de EPS?
- Qual o custo-benefício do uso de blocos ou placas de EPS?

### 1.1.2. Objetivos

O objetivo principal da pesquisa é verificar a influência da aplicação do EPS em obras civis em relação a conservação de energia elétrica relacionada ao sistema de refrigeração.

Constituem-se também objetivos desta pesquisa montar uma base de dados técnicos e construtivos sobre o EPS, suas características físicas e mecânicas, processos de fabricação, aplicações e métodos de construção, de modo a proporcionar uma ferramenta de auxílio para estudos futuros em relação a esse material.

Outro objetivo é efetuar uma análise econômica comparando a relação custo/benefício entre os sistemas construtivos considerando as necessidades de potência frigorífica e de eletricidade para acionamento do maquinário de refrigeração, tanto do ponto de vista de armazenamento de alimentos, como do ponto de vista de conforto térmico.

## 1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura da dissertação encontra-se constituída de seis capítulos. Esses capítulos têm por finalidade agrupar os assuntos, distribuídos em itens de acordo com os objetivos já mencionados anteriormente.

O Capítulo 1, intitulado de “INTRODUÇÃO”, delimita o objeto de estudo apresentando, os objetivos da pesquisa, o contexto e importância e a própria estrutura da dissertação, a fim de orientar os assuntos a serem abordados no escopo desse trabalho.

O Capítulo 2, “EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO)”, contém todas as informações pertinentes ao objeto de estudo, o material EPS. Essas informações constituem-se de sua origem, dados técnicos (propriedades físicas e mecânicas), aplicações, processos de fabricação e métodos construtivos acerca do material.

No Capítulo 3, sob o nome de “FUNDAMENTOS TÉRMICOS”, apresentam-se as fundamentações teóricas e metodologias necessárias para os estudos de casos associados aos capítulos seguintes. São descritas as variáveis constituintes para o conforto térmico e os equipamentos de refrigeração, conservação de alimentos em câmaras frigoríficas e cálculos de carga térmica.

Nos Capítulos 4 e 5 - “ESTUDO DE CASO” apresentam-se dois estudos de casos referentes a aplicação do EPS em obras civis. No primeiro, faz-se a análise técnica e econômica de uma câmara frigorífica para armazenamento de carne bovina, comparando alvenaria de tijolos, comumente usado na construção civil, e os blocos de EPS como fechamento das paredes, ambos devidamente revestidos conforme os métodos construtivos respectivos a esses materiais. Os blocos de EPS usados nesse estudo são de fabricação da Empresa BASF e tem o nome comercial registrado de Styroblock<sup>®</sup>. Estes foram usados por se tratar de um projeto de pesquisa em conjunto com a própria empresa. No segundo estudo de caso, analisa-se a aplicação de placas de EPS junto a alvenaria em um edifício comercial, também fazendo um estudo de viabilidade técnica e econômica, conforme solicitado pela ABRAPEX – Associação Brasileira do Poliestireno Expandido, também em forma de um projeto de pesquisa.

Finalmente no Capítulo 6 - “CONSIDERAÇÕES FINAIS” são mencionadas as considerações e conclusões com relação aos estudos de viabilidade técnica e econômica visando a redução nos gastos com energia elétrica dos estabelecimentos.



A Figura 1.1 ilustra a estrutura da dissertação como apresentada anteriormente.

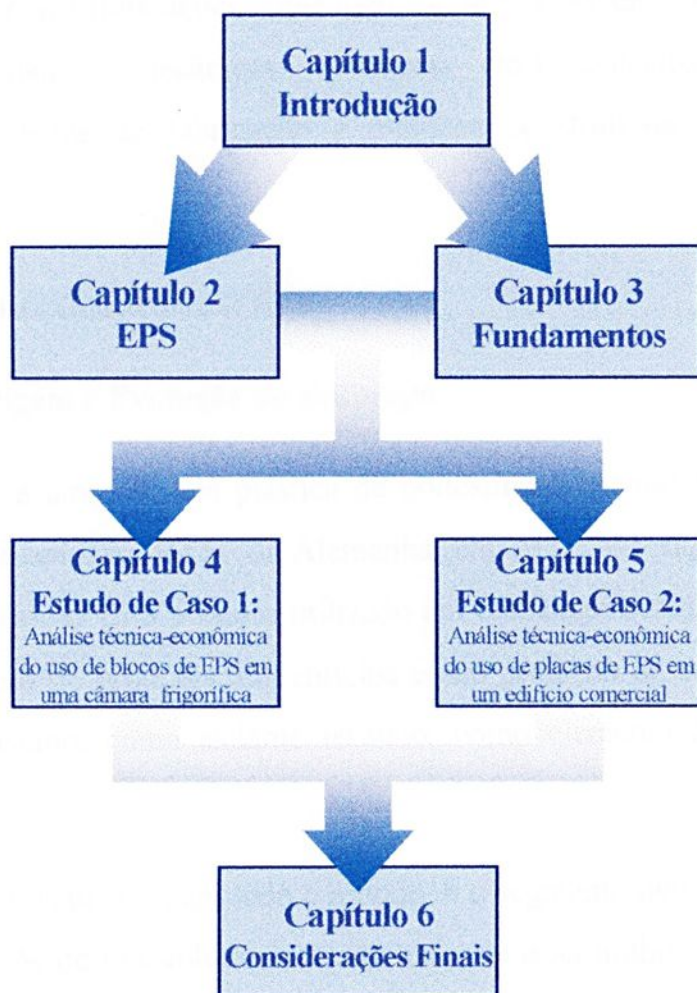


FIGURA 1.1 - Fluxograma da estrutura da dissertação

## CAPÍTULO 2 - EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO)

Este capítulo contém informações pertinentes ao objeto de estudo: o material EPS. Estas informações constituem-se de sua origem, dados técnicos (propriedades físicas, mecânicas, químicas, etc.), aspectos biológicos, aplicações, processos de fabricação e métodos construtivos acerca desse material.

### 2.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O EPS

#### 2.1.1. Origem e Evolução do Emprego

O EPS é uma espuma plástica de poliestireno expandido que, desde sua criação pela empresa BASF da Alemanha, em 1951, tem sido aplicado de diversas maneiras. O EPS é muito utilizado em embalagens industriais (tanto para conservação de produtos alimentícios como proteção de equipamentos), artigos de consumo, como isolante térmico, como elemento de moldes de fundição, etc.

A construção civil, em todo o mundo, é o segmento que mais consome EPS, isto é, 50% de um volume total de mais de dois milhões de toneladas anuais conforme Franca *et al* (1997), devido às suas propriedades de baixa condutividade térmica, baixo peso específico e resistência mecânica, resultando em alívio de peso próprio em estruturas, conforto térmico e conseqüentemente economia de energia e custos operacionais em edificações. No Brasil, conforme os dados da ABRAPEX - Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (1997), tem-se que 50% do volume total é destinado para o segmento das embalagens, seguido do uso na construção civil com 35% e utilidades domésticas com 15%. No primeiro semestre de 1997 houve um

crescimento na produção de aproximadamente de 30% em relação ao mesmo período do ano anterior, com um total de 7.275 toneladas produzidas.

Atualmente, com os problemas relacionados à produção de energia, proteção ambiental e busca de economia nos custos operacionais das edificações, torna-se mais evidente o aumento do uso de isolamento térmico e, conseqüentemente, o aumento da produção de EPS para esse fim.

### 2.1.2. Generalidades e Definições

O EPS é uma sigla internacional que identifica o Poliestireno Expandido, de acordo com a norma ISO-1043/78, consistindo de um material celular rígido, resultado da polimerização do estireno em água e pertencendo ao grupo dos termoplásticos. A ABNT 11752 normaliza o EPS em utilizações no isolamento de câmaras frigoríficas e edificações (BASF, 1992a).

Os dados de um artigo do Grupo Polimex (1997), com o nome de "Reciclabilidade y Ecologia", mostraram que o EPS é um material quimicamente inerte e que sua composição é de 98% de ar e só 2% de poliestireno (sendo esse o fato de ser excelente isolante térmico). O EPS não é biodegradável, isto é, não se decompõe, não se desintegra, não desaparece no ambiente e não contém CFC. Portanto, é um produto que não contamina o solo, a água e o ar e é reutilizável no processo e totalmente reciclável, tudo a um baixo custo.

O único problema é relacionado aos aterros sanitários municipais quando este é descartado, pois o seu volume é muito grande. Atualmente estão sendo feitos programas para incentivar empresas na reciclagem do EPS, realizados pelo Comitê de Meio Ambiente e Reciclagem; esse comitê foi

criado no ano de 1996, conforme ABRAPEX - Associação Brasileira do Poliestireno Expandido (1996).

Hoje em dia as construções são caracterizadas por exigências de economia de energia e proteção ambiental. Todos os países industrializados, têm exigências mínimas normalizadas para o isolamento térmico na construção de ambientes com necessidades de aquecimento e refrigeração. Em regiões com temperaturas de inverno muito baixas o uso de isolantes térmicos é muito comum, evitando que o ambiente se resfrie e em locais com clima tropical, isto é, temperaturas altas de verão, a necessidade é de se evitar perdas com energia nos condicionadores de ar, sendo que a parcela de isolamento térmico é muito significativa nos cálculos de carga térmica.

A perda de energia no armazenamento de produtos ou no condicionamento de ar de um ambiente em dias quentes de verão é maior do que aquele no aquecimento de ambientes com baixas temperaturas externas no inverno. Apesar dos arquitetos e construtores acharem que usar camadas de isolamento interfere no grau de liberdade para a criação e execução de um projeto, sabe-se que esta intervenção tem um efeito benéfico no desenvolvimento de soluções e sistemas inovadores.

O EPS como um material para o isolamento de edificações (e/ou equipamentos) tem garantido em muitos países e por já há algum tempo um lugar significativo na prática da construção e montagem.

A tendência, hoje em dia, está clara que é na direção de isolamentos térmicos, tais como paredes externas, sistemas de isolamento de telhados, de aquecimento sobre o piso, etc. Esses sistemas dão ao proprietário da construção não somente considerável vantagem na relação custo-benefício, mas também possibilitam a redução de erros técnicos na execução da obra.

## 2.2. CARACTERÍSTICAS DO EPS

### 2.2.1. Características Exigíveis para o EPS

Para que o EPS seja um excelente isolante térmico, este deve ser utilizado segundo a norma ABNT 11752, que determina as densidades do EPS para isolamento térmico na construção civil e em câmaras frigoríficas (BASF, 1992b).

Deve-se, portanto, verificar se esse material é tecnologicamente adequado para a utilização a que se destina e que tenha realmente a espessura e densidade especificada para cada finalidade de uso. A Tabela 2.1 mostra as características exigíveis para o EPS. Existem duas classes de EPS: a classe P, não retardante, à chama e a classe F, retardante a chama. Estas estão subdivididas em três faixas de densidades, conforme dados obtidos do catálogo da Central EPS – Tecnologia e Serviços (s.d. a).

TABELA 2.1 - Características Exigíveis para o Poliestireno Expandido  
[Central EPS – Tecnologia e Serviços, s.d. a]

PROPRIEDADE	MET. DE ENSAIOS	UNIDADE	CLASSE P			CLASSE F		
			I	II	III	I	II	III
Massa Específica Aparente	NBR 11949	kg/m <sup>3</sup>	13-16	16-20	20-25	13-16	16-20	20-25
Resistência a compressão com 10% de deformação	NBR 8082	k Pa	≥ 60	≥ 70	≥ 100	≥ 60	≥ 70	≥ 100
Resistência a Flexão	ASTM C-203	k Pa	≥ 150	≥ 190	≥ 240	≥ 150	≥ 190	≥ 240
Absorção de água por imersão	NBR 7973	g/cm <sup>2</sup> x 100	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Permeabilidade ao vapor d'água	NBR 8081	ng/Pa s m	≤ 7	≤ 5	≤ 5	≤ 7	≤ 5	≤ 5
Coefficiente de Condutividade térmica a 23 °C	NBR 12094	W/(m K)	0,042	0,039	0,037	0,042	0,039	0,037
Flamabilidade	NBR 11948		Material não retardante a chama			Material retardante a chama		

## 2.2.2. Propriedades Físicas do EPS

### *Isolamento Térmico*

A propriedade física mais importante do EPS é seu excelente poder de isolamento térmico tanto para o frio como para calor. Essa propriedade se deve simplesmente ao fato de que em  $1 \text{ m}^3$  de EPS existem de três a seis bilhões de células poliédricas fechadas e cheias de ar, o que caracteriza que seu peso seja muito baixo. Os diâmetros dessas células variam de 0,2 a 0,5mm e a espessura da parede fica em torno de 0,001mm conforme Basf (1992b).

As propriedades de isolamento térmico do material são descritas através da condutividade térmica. Como é mostrado na Figura 2.1, considerando todos os outros parâmetros constantes, a condutividade térmica do EPS depende da densidade.

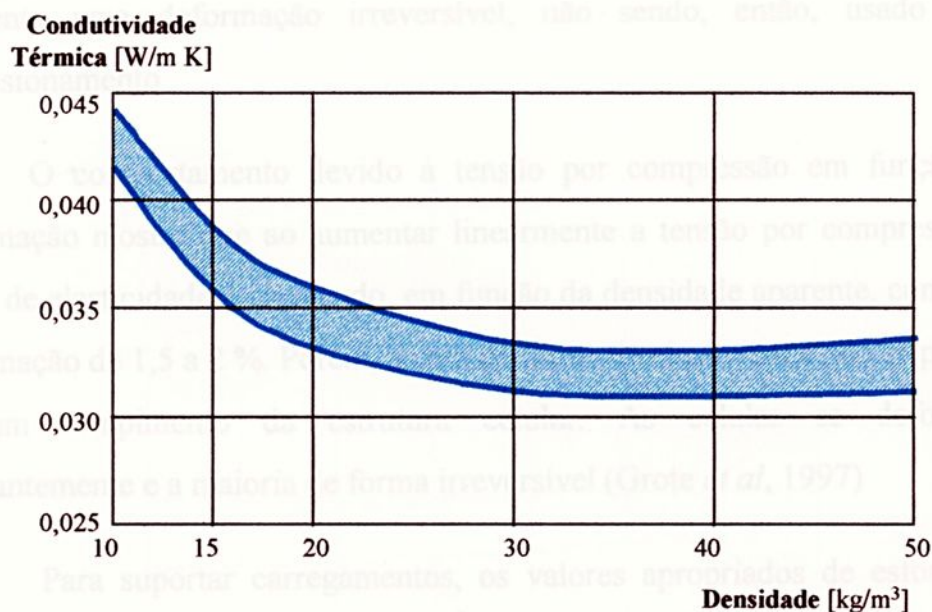


FIGURA 2.1 - Condutividade Térmica do EPS em função da densidade a uma temperatura de  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  [BASF, 1992b]

O coeficiente de condutividade térmica é maior para placas de baixa densidade, reduzindo à medida que aumenta a densidade, atingindo o mínimo na zona compreendida entre 30 e 50 kg/m<sup>3</sup> de densidade, após esse limite ele começa a subir. A condutividade térmica do EPS com uma densidade de 20 kg/m<sup>3</sup> está entre 0,033 e 0,036 W/mK a uma temperatura de 10°C (BASF, 1992b).

### *Esforços mecânicos*

Uma outra propriedade importante do EPS é sua resistência mecânica a esforços de curta e longa duração. Uma forma de medir esta propriedade é a chamada tensão por compressão a uma deformação de 10%. Mede-se desta forma, porque o EPS pertence ao grupo das espumas rígidas (BASF, 1992b). Quando submetidas a um carregamento apresenta um comportamento viscoelástico que é característica de materiais frágeis-rígidos. Mas esse valor já apresenta uma deformação irreversível, não sendo, então, usado para dimensionamento.

O comportamento devido à tensão por compressão em função da deformação mostra que ao aumentar linearmente a tensão por compressão o limite de elasticidade é alcançado, em função da densidade aparente, com uma deformação de 1,5 a 2 %. Porém, acima do limite de elasticidade não se produz nenhum rompimento da estrutura celular. As células se deformam constantemente e a maioria de forma irreversível (Grote *et al*, 1997)

Para suportar carregamentos, os valores apropriados de esforços a compressão são aqueles inferiores a 2% da deformação (BASF, 1992b).

As Figuras 2.2 e 2.3 retiradas do BASF (1992b), mostram os testes realizados em condições de 23°C de temperatura e 50% de umidade relativa, com tensões por compressão de 0,02 , 0,03 , 0,04 e 0,06 MPa a uma



deformação entre 0 e 3% ao longo do tempo (desde 1 hora até aproximadamente 50 anos -  $10^6$  horas) para duas densidades diferentes a de  $15 \text{ kg/m}^3$  e a de  $30 \text{ kg/m}^3$ :

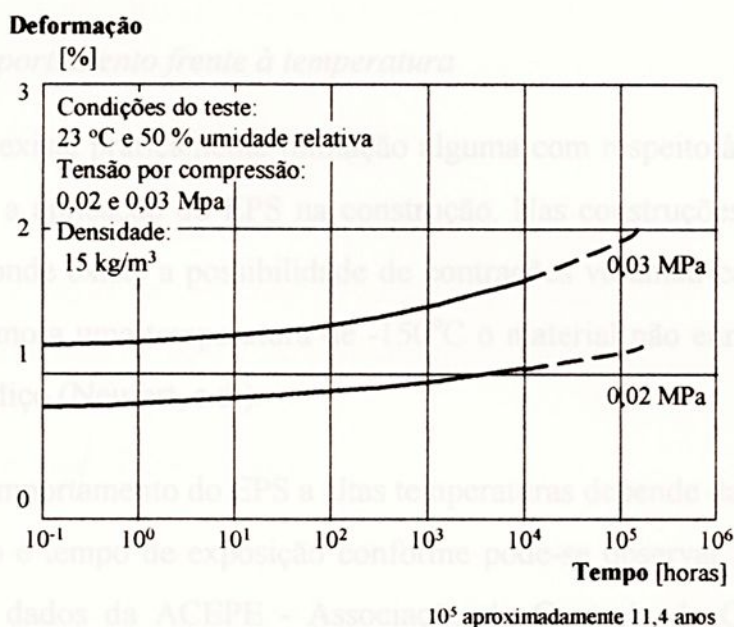


FIGURA 2.2 - Comportamento do EPS ao longo do tempo com densidade de  $15 \text{ kg/m}^3$  sob vários carregamentos [BASF, 1992b]

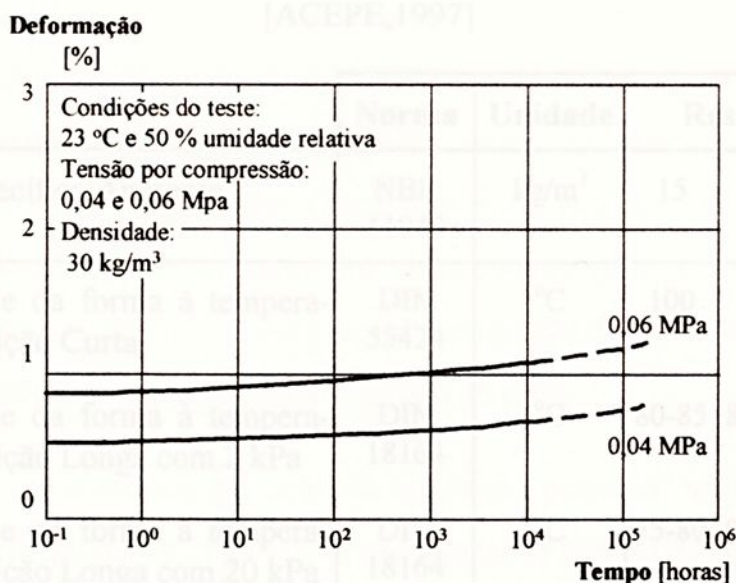


FIGURA 2.3 - Comportamento do EPS ao longo do tempo com densidade de  $30 \text{ kg/m}^3$  sob vários carregamentos [BASF, 1992b]

As propriedades mecânicas são dependentes da densidade, isto é, avaliações comparativas são somente expressivas se os valores de densidade são também considerados.

### *Comportamento frente à temperatura*

Não existe praticamente limitação alguma com respeito à temperatura mínima para a aplicação do EPS na construção. Nas construções de câmaras frigoríficas, onde existe a possibilidade de contrações volumétricas de origem térmica, mesmo a uma temperatura de  $-150^{\circ}\text{C}$  o material não enrijece nem se torna quebradiço (Neufert, s.d.).

O comportamento do EPS a altas temperaturas depende da duração, do carregamento e tempo de exposição conforme pode-se observar a Tabela 2.2 baseada nos dados da ACEPE - Associação de Controle de Qualidade de Espumas de Poliestireno Expandido (1997).

TABELA 2.2 - Comportamento do EPS em relação a temperatura.

[ACEPE,1997]

	<b>Norma</b>	<b>Unidade</b>	<b>Resultados</b>		
Massa Específica Aparente	NBR 11949	$\text{kg/m}^3$	15	20	30
Estabilidade da forma à temperatura Exposição Curta	DIN 55424	$^{\circ}\text{C}$	100	100	100
Estabilidade da forma à temperatura Exposição Longa com 2 kPa	DIN 18164	$^{\circ}\text{C}$	80-85	80-85	80-85
Estabilidade da forma à temperatura Exposição Longa com 20 kPa	DIN 18164	$^{\circ}\text{C}$	75-80	80-85	80-85



Estando expostos a temperaturas superiores a 100°C, os materiais a base de EPS se contraem e se for aumentada a temperatura eles se fundem. Se mantido a exposição ao calor durante certo tempo, o material fundido emite produtos de composições gasosas que são inflamáveis; para a ignição depende de uma chama externa ou uma chispa; e também da temperatura, da duração da exposição ao calor e do movimento do ar.

Em muitos campos de aplicação, nos quais obrigatoriamente não há mudança entre a temperatura de colocação (obra) e a de utilização, a variação dimensional do EPS é tão pequena que pode ser desprezada.

#### *Estabilidade Dimensional*

Qualquer material está sujeito a variações dimensionais, sejam matérias primas, peças pré-fabricadas ou moldadas. Com o EPS se diferencia a deformação dimensional devido ao efeito do calor e o efeito contração posterior (BASF, 1992b).

- Variações dimensionais por ação do calor: o EPS tem um coeficiente de dilatação térmica, variando de 0,05 à 0,07 mm/m°C, porém uma mudança de temperatura de aproximadamente 17°C, causa uma alteração dimensional reversível de 0,1% ou 1 mm/m. O efeito devido a ação do frio também deve ser considerado, como exemplo, uma placa com comprimento de 400 mm a uma temperatura de 20°C poderá ter uma contração de aproximadamente de 1 mm quando a temperatura estiver abaixo de -20°C.
- Variações dimensionais por ação da contração posterior: são as variações que ocorrem depois de 24 horas da espuma ter se expandido. O poliestireno expandido se contrai em parte devido ao resfriamento depois do processo de fabricação. Primeiro a taxa de contração é relativamente rápida e depois se mantém abaixo dos valores limitados, isto é, de 0,3 a 0,5%.



### *Comportamento frente a Água Líquida e Vapor de Água*

Existe uma diferença básica entre absorção de água e transmissão de vapor de água. Primeiro, quando materiais a base de EPS são imersos em água esses absorvem somente uma pequena quantidade de água. Como as paredes das células são impermeáveis, a água pode penetrar na espuma, através das pequenas capilaridades entre as células. Isto implica que a quantidade de água retida depende de como a matéria-prima do EPS comporta-se quando processada e das condições de processo (principalmente durante a expansão).

Os resultados dos testes realizados, mostraram que depois de 28 dias a espuma de poliestireno absorveu aproximadamente 2 a 7% do seu volume em água, conforme os dados ACEPE (1997). Para a maioria das aplicações, a água absorvida através do EPS submerso é muito pouco significativa e somente interessa em casos especiais como de escavações, construção de fundações, botes e salva-vidas.

No caso do vapor de água, o qual está presente no ar na forma de umidade, pode (a uma de temperatura apropriada) difundir-se lentamente para dentro das células da espuma onde condensa com o resfriamento. A resistência a transmissão de vapor de água é obtida da multiplicação da densidade da barreira pelo fator de resistência de transmissão, sendo que este significa um número de dimensão menor e diz quantas vezes maior é a resistência do material comparado com um nível de ar de mesma densidade (para o ar o valor é um). Os valores de resistência de transmissão para o EPS estão limitados entre 20 até 100, dependendo da densidade conforme o catálogo técnico da Basf (1992b).



### *Efeitos da radiação e clima*

Depois de uma longa exposição a altas energias de radiação (ondas curtas ultra violetas (UV), raio-x, raios- $\gamma$ ), o EPS torna-se frágil. Esse processo depende do tipo de radiação, da sua intensidade e do tempo de exposição. Na prática somente o UV tem se mostrado importante, pois um longo período de exposição a esses raios transforma a superfície do EPS amarelada e frágil, tornando-o propenso à erosão por vento e chuva. Esses efeitos podem ser prevenidos através de atitudes simples como pinturas, coberturas ou usar laminados compostos. Em ambientes internos, a exposição ao UV é tão pequena que o EPS não é afetado, como por exemplo em lajes cobertas por telhado (BASF, 1992b).

### **2.2.3. Propriedades Químicas**

É imprescindível conhecer o comportamento dos materiais expandidos de EPS frente a substâncias químicas que são usadas em conjunto com o EPS para se evitar erros na aplicação.

Os materiais de EPS são estáveis frente aos materiais habitualmente usados na construção civil, tais como cimento, cal, gesso, areia e suas respectivas misturas. Deve-se levar em conta, no entanto, a sensibilidade do EPS frente aos solventes quando se trata da aplicação de adesivos, pinturas, desmoldantes à base de óleo de produtos derivados de alcatrão de agentes fluidificantes, assim como dos vapores dessas substâncias, tão usuais na construção.

O ensaio de resistência química é realizado submetendo-se cinco cubos de material expandido de cinco centímetros de aresta no líquido a ser investigado e se analisam por um período de tempo definido as variações ocorridas nos cubos, por exemplo, pesos e dimensões.



O tempo de permanência nos meios líquidos é de 72 horas, em gases de 24 horas e em gases liqüefeitos de, pelo menos, 3 horas, conforme Basf (1995a).

A Tabela 2.3 mostra a resistência dos materiais de EPS frente a alguns dos principais produtos químicos conforme catálogo técnico da Basf (1995a).

Para valores visuais se propõe o uso de critérios de valores desde 0 (quando o material não é destruído mesmo no caso de exposição prolongada), a 5 (quando o material expandido contrai-se mais ou menos rapidamente ou desfaz-se por completo). Para a compreensão da Tabela 2.3 usou-se esse critério de avaliação, conforme a simbologia mostrada a seguir:

+	⇒	0	sem variação	(resistente)
±	⇒	2	ligeira variação	(resistência limitada)
-	⇒	5	grande variação	(sem resistência)

TABELA 2.3 - Resistência dos materiais compostos de EPS à alguns produtos químicos [BASF, 1995a]

AGENTE DE ENSAIO	EPS - P	EPS - F
Água	+	+
Água do mar	+	+
Água de cal	+	+
Ácido clorídrico a 36%	+	+
Ácido sulfúrico a 95%	+	+
Ácido fosfórico a 90%	+	+
Ácido azótico a 68%	+	+
Ácido fórmico a 80%	+	+
Ácido acético a 70%	+	+
Soda cáustica a 40%	+	+
Potassa cáustica a 50%	+	+
Amônia a 25%	+	+

TABELA 2.3 – Continuação

AGENTE DE ENSAIO	EPS - P	EPS - F
Álcool metílico	+	+
Álcool etílico	+	+
Álcool propílico	+	+
Benzina isenta de aromáticos, óleo Diesel	-	-
Carburantes, com teor de benzeno	-	-
Éter acético	-	-
Benzeno	-	-
Butanol	±	±
Tetracloroeto de carbono	-	-
Éter e solventes orgânicos	-	-
Gás natural	+	+
Óleos de cascas, isento de aromáticos	+	+

Se em alguma aplicação os materiais a base de EPS tiverem a necessidade de entrar em contato com alguma substância com uma composição desconhecida, é recomendável realizar um ensaio prático para assegurar que o EPS não sofrerá efeitos prejudiciais.

#### 2.2.4. Aspectos Biológicos

A espuma de EPS não é um meio considerado apropriado para a procriação de microorganismos, somente sob condições especiais, estes podem residir na espuma (como por exemplo se ele estiver exageradamente sujo), ainda assim o EPS age como um substrato, não participando do processo biológico, porque não deteriora ou apodrece. Bactérias do solo também não atacam o EPS (BASF, 1990).



A composição corretamente manufaturada do EPS atende várias exigências de normas do Ministério da Saúde, e por essa razão, o EPS pode ser produzido para utilização direta de embalagens alimentícias.

O EPS não tem efeitos nocivos ao meio ambiente e ao lençol d'água, podendo, assim, ser utilizado, de acordo com as regulamentações locais, para aplicações no solo, como drenagem, aerador de solo, substrato de jardineiras, etc., ou ser incinerado sem produzir fumaças nocivas.

### 2.2.5. Comportamento ignífero

As matérias primas utilizadas para a fabricação dos materiais expandidos de EPS consistem em polímeros de estireno que contém mistura de hidrocarbonetos de baixo ponto de ebulição. Tanto os componentes poliméricos como o agente de expansão são materiais inflamáveis.

Blocos ou placas de EPS, devido ao processo de fabricação, contém resíduos do agente de expansão, que com o tempo se volatiliza. Por isso os materiais de EPS devem ser armazenados durante um tempo suficiente para se dar essa volatilização. Com isso, ao manipular estes materiais se adotam medidas especiais para prevenção de incêndios.

A Tabela 2.4 mostra o comportamento frente ao fogo de materiais a base de EPS segundo condições normalizadas.

TABELA 2.4 – Comportamento frente ao fogo de materiais a base de EPS

[BASF, 1995b]

		EPS - F	EPS - P
Inflamabilidade:	Tempo de combustão posterior	< 0,5 s	> 60 s
Propagação da chama:	Horizontal	HF 1	Não classif.
	Vertical	F1	F 3

### *Inflamabilidade, propagação de chama*

Em ensaios realizados, a temperatura de inflamação de materiais de EPS classe P é de 362°C, e para os de classe F é de 374°C e não são autoinflamáveis até uma temperatura de 450°C. Conseqüentemente, na prática parte-se do pressuposto que os materiais de EPS não emitem gases inflamáveis até alcançar temperaturas superiores a 350°C conforme dados do catálogo técnico da Basf (1995b).

O material a base de EPS P pode se inflamar com relativa rapidez, o fogo se estenderá rapidamente pela superfície, e se calcinará em sua totalidade se existir energia térmica suficiente para sua fusão, se houver oxigênio e se os gases de combustão encontrarem saída de dentro das células.

Já o material a base de EPS F, se exposto brevemente a chama, se contrai sem se inflamar. Só começará a inflamar se a exposição ao calor se prolongar. Sua velocidade de propagação é muito baixa e as chamas só se propagam pela sua superfície. Uma vez interrompido o contato com a chama não existe nenhuma combustão posterior.

### *Geração de calor*

Os critérios de classificação de um material de EPS do ponto de vista de prevenção de incêndio, além da inflamabilidade e da propagação de chama, cabe a geração de calor. A poder calorífico relativamente elevada do poliestireno, por volta de 11,00 kJ/kg (BASF, 1995b), não indica que contribua de modo importante na geração de calor. Esta depende principalmente da velocidade de combustão.

### *Emissão no caso de incêndio*

A toxicidade dos gases de combustão com ou sem chama não pode ser considerada unicamente a partir da concentração dos distintos componentes.



Estudos demonstram que os gases de combustão podem ter um efeito tóxico, como ocorre com a decomposição de todas as matérias orgânicas. A Tabela 2.5 demonstra a concentração dos componentes dos gases da combustão conforme dados do catálogo técnico da Basf (1995b).

TABELA 2.5 - Componentes dos gases de combustão à certas temperaturas [BASF, 1995b]

Material	Componentes dos gases de combustão	Composição do gás de combustão em ppm <sup>1</sup> , a uma temperatura de ensaio de:			
		300 °C	400 °C	500 °C	600 °C
EPS	Monóxido de carbono	50*	200*	400*	1000**
Classe P	Estireno monômero	200	300	500	50
	Outras substâncias aromáticas		10	30	10
	Ácido bromídrico	0	0	0	0
EPS	Monóxido de carbono	10*	50*	500*	1000**
Classe F	Estireno monômero	50	100	500	50
	Outras substâncias aromáticas		20	20	10
	Ácido bromídrico	10	15	13	11
Cortiça	Monóxido de carbono	1000*	3000**	15000**	29000**
	Substâncias aromáticas		200	1000	1000

\* Combustão sem chama

\*\* Combustão com chama

<sup>1</sup> ppm - partes por milhão em volume

### *Resíduos de combustão e águas para extinção de incêndios*

Os resíduos da combustão do EPS não contém materiais prejudiciais quando diluídos em água, em quantidade significativa. Os produtos plásticos queimados e carbonizados devem ser enviados a uma planta de tratamento residual segundo medidas do Departamento Federal de Sanidad (1990), porém antes devem ser realizadas análises para se verificar se estes resíduos podem ser reaproveitados ou não.

Ensaio realizados com essas águas, isto é, águas que extinguiram incêndios de materiais de EPS, resultaram que mesmo em uma catástrofe, a contaminação das águas naturais não representariam nenhum risco.

Conclui-se que os produtos gerados nas combustões de materiais expandidos a base de EPS não contém consideráveis perigos ao meio ambiente.

#### **2.2.6. Resistência ao envelhecimento e performance a longo prazo**

Entende-se por envelhecimento de material, a alteração de suas propriedades ao longo do tempo. Esta mudança pode ser provocada por causas internas (tensões internas, processos de cristalização, etc.) ou também por fatores externos de condições ambientais a que este material pode estar exposto devido a suas aplicações. As razões dessas mudanças são em geral devido ao oxigênio atmosférico, água, calor e luz. Desses o mais expressivo é a radiação ultravioleta, que pode fragilizar o material se este não estiver protegido como já comentado anteriormente.

Conforme o informativo técnico Basf (1992c) uma inspeção realizada em 1986 por especialistas em um edifício construído em 1955, isto é, com uma



idade de 31 anos na data da inspeção, no qual foram utilizados painéis de EPS para isolamento térmica, resultou que os painéis não se movimentaram e estavam firmemente selados. Não houve mudanças irreversíveis nas dimensões que poderiam ter sido causadas por contração posterior do material ou contração devido a fatores externos e não existiam sinais de deformação que pudessem ter sido causadas por exposição ao calor. Portanto os painéis estavam, por essa inspeção visual, em excelentes condições.

Outros testes foram realizados em laboratórios em relação à condutividade térmica e conteúdo de umidade nesses painéis. Os resultados foram que para a condutividade térmica em um painel de densidade de  $17,4 \text{ kg/m}^3$ , este estava com  $0,0345 \text{ W/mK}$ , conforme a norma alemã sobre isolamento térmico em edifícios o valor para condutividade térmica seria de  $0,04 \text{ W/mK}$  (BASF, 1992c).

Os testes para fração de volume de água para painéis de densidade de  $20 \text{ kg/m}^3$  estavam em  $0,02\%$ . Os outros testes também obtiveram resultados confirmando que a performance dos painéis de EPS permaneceram absolutamente adequadas após esses 31 anos de utilização (BASF, 1992c).

FIGURA 2.4 - Produção da Matéria Prima (BASF, 1992a)

### 2.3. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DO EPS

O processo de produção dos plásticos espumados de EPS é constituído de três estágios: pré-expansão, envelhecimento intermediário e moldagem.

A matéria prima do EPS é polimerizada formando pérolas transparentes de forma arredondadas medindo entre 0,2 a 3,0 mm de diâmetro. A densidade é de aproximadamente  $650 \text{ kg/m}^3$  (BASF, 1992d). Nesse processo é usada energia na forma de calor, que pode ser obtida através de água quente, ar quente, vapor, radiação infravermelha ou indução. Contudo, na prática o vapor é o mais usado, sendo também a forma mais econômica de energia. A forma de obtenção da matéria prima está ilustrada na Figura 2.4.

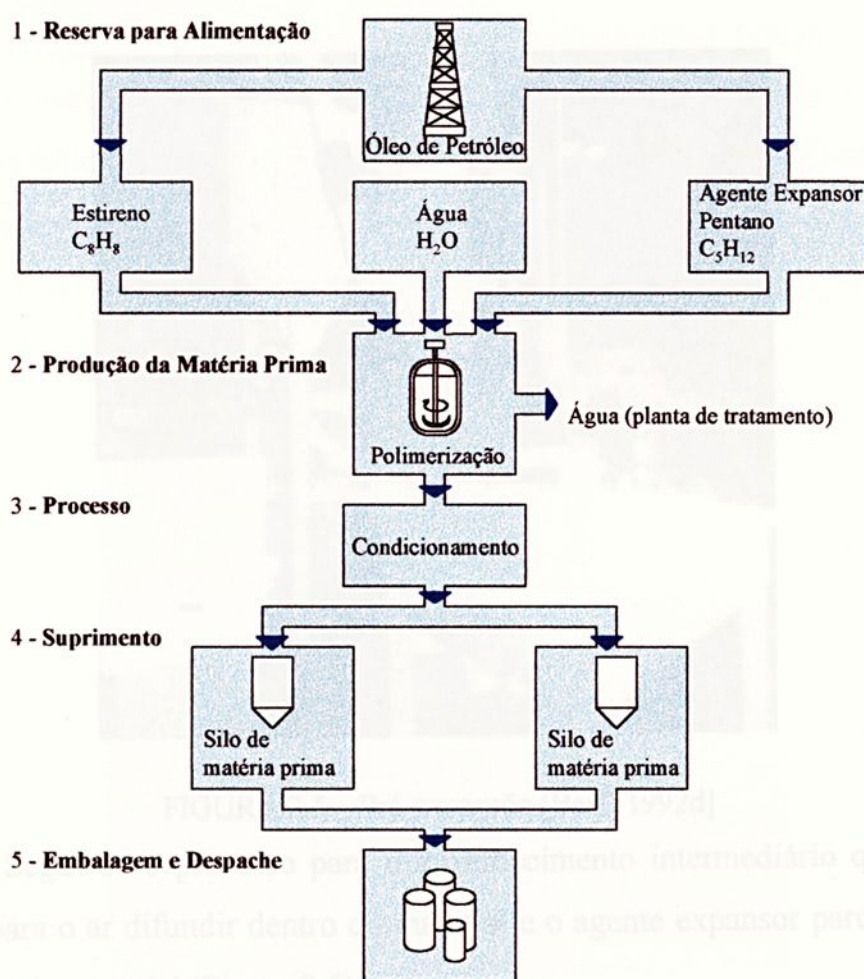


FIGURA 2.4 – Produção da Matéria Prima [BASF, 1992d]

Após a obtenção da matéria prima é realizada a pré-expansão. No primeiro estágio as pérolas são aquecidas a uma temperatura de aproximadamente de 100°C através de uso de vapor em uma máquina pré-expansora. Pentano é adicionado como agente expensor e o resultado final são pérolas expandidas com um aumento de até sessenta vezes seu tamanho original, formando partículas de espuma em células fechadas. A densidade das pérolas pré-expandidas depende da temperatura e do tempo da ação do vapor (usualmente de 2 a 5 minutos), a densidade neste estágio definirá a densidade da espuma totalmente expandida. A Figura 2.5 ilustra um equipamento de pré-expansão.

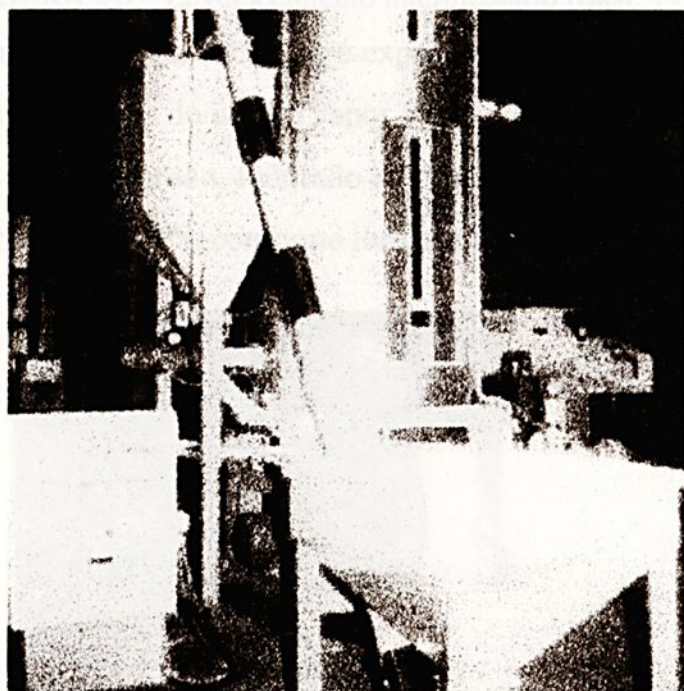


FIGURA 2.5 – Pré-expansão [BASF, 1992d]

Segue-se o processo para o envelhecimento intermediário que é um tempo para o ar difundir dentro do material e o agente expensor parcialmente para fora do material (Figura 2.6).

FIGURA 2.6 – Molagem [BASF, 1992d]

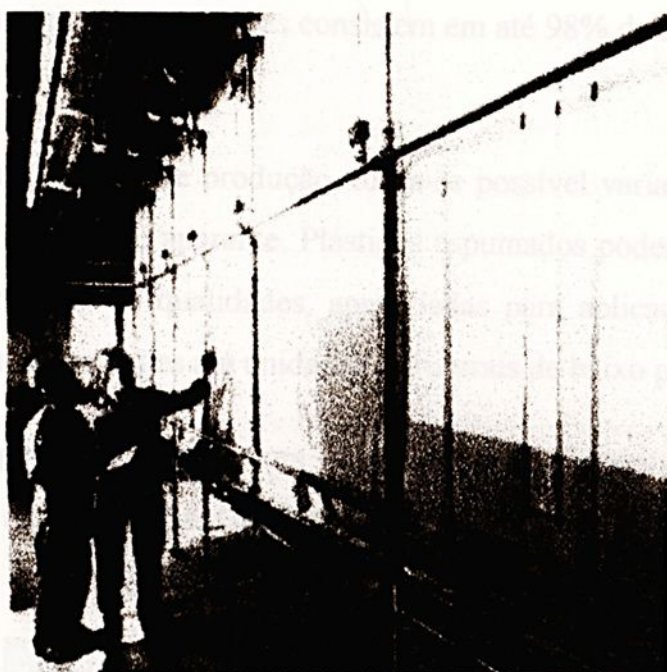


FIGURA 2.6 – Envelhecimento intermediário [BASF, 1992d]

Finalmente, as partículas pré-expandidas são colocadas dentro de formas metálicas, através do uso de vapor e dos resíduos do agente expensor é realizada uma nova expansão, fundindo-as e moldando-as em formas diversas, tais como, os blocos de EPS, conforme ilustra a Figura 2.7.



FIGURA 2.7 – Moldagem [BASF, 1992d]

Expandidas, essas pérolas consistem em até 98% de ar e apenas 2% de poliestireno.

Nesse processo de produção, torna-se possível variar, dentro de uma larga faixa, a densidade aparente. Plásticos espumados podem ser produzidos com uma variedade de qualidades, apropriadas para aplicações particulares, que vão de placas isolantes até unidades estruturais de baixo peso.

A Figura 2.8 mostra um diagrama esquemático do processo de fabricação de materiais a base de EPS.

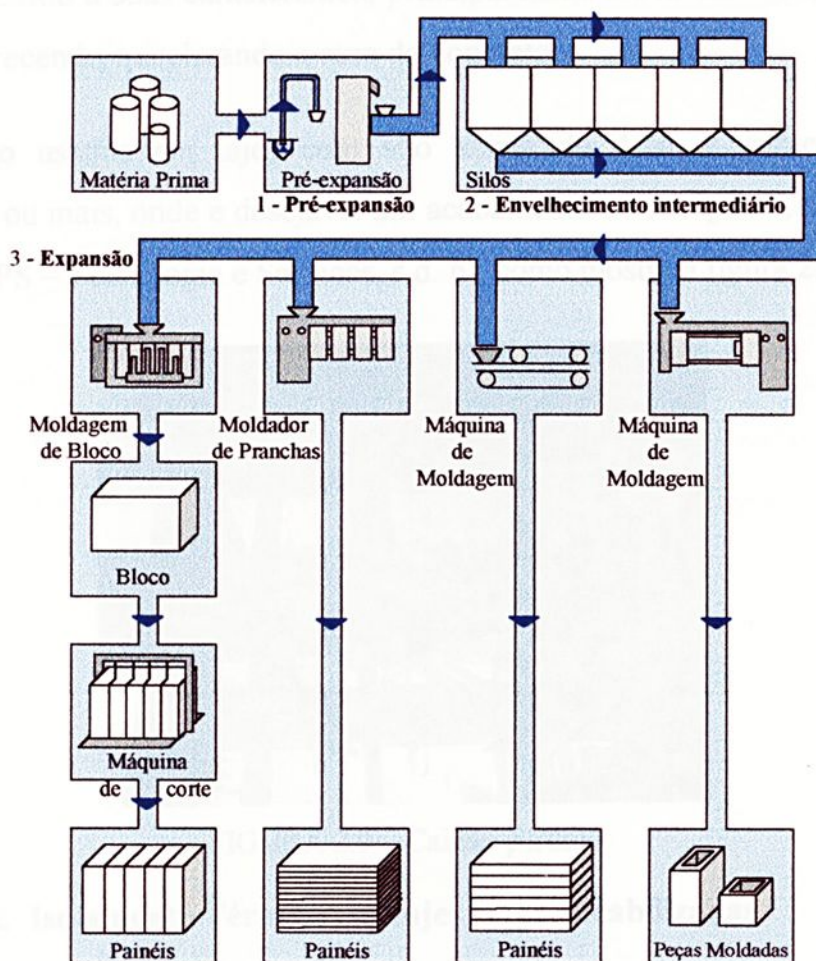


FIGURA 2.8 – Processo do EPS [BASF, 1992d]

## 2.4. APLICAÇÕES DO EPS

Os materiais a base de EPS são usados nas mais diversas aplicações. A seguir são citados algumas de suas aplicações e suas características baseados nos manuais técnicos da Central EPS – Tecnologia e Serviços que é composto pelas empresas Basf, Shell, Resinor e Tupy.

### 2.4.1. Blocos para Caixão Perdido e Fôrmas para concreto

O EPS tem se mostrado muito adequado para o uso em caixões perdidos devido a suas características, principalmente a sua baixa absorção de água, favorecendo e acelerando a cura do concreto.

São usados em lajes com vão acima de 4,2m e sobrecarga de  $200\text{kg/m}^2$  ou mais, onde é desejável um acabamento de teto plano, sem vigas, (Central EPS – Tecnologia e Serviços, s.d. b), como mostra a figura 2.9.



FIGURA 2.9 – Caixão perdido

### 2.4.2. Isolamento Térmico de Lajes Impermeabilizadas

Hoje em dia qualquer laje impermeabilizada tem um isolamento térmico. Uma das soluções existentes no mercado para essa aplicação são as placas de EPS, principalmente pelo seu custo/benefício. Placas com espessura

de 25 mm são suficiente para isolar termicamente essas lajes. A figura 2.10 ilustra essa aplicação (Central EPS – Tecnologia e Serviços, s.d. b).

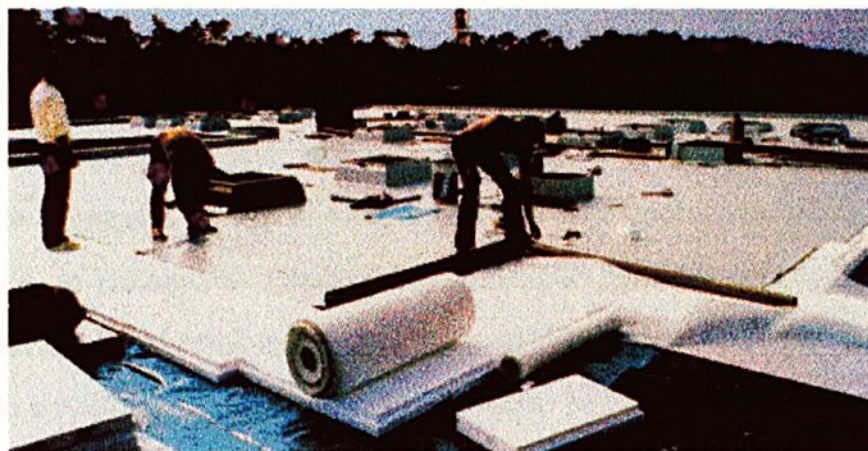


FIGURA 2.10 – Laje impermeabilizada com placas de EPS para isolamento térmico [BASF, s.d.]

### 2.4.3. Pisos Compostos

Pisos ou paredes compostas são usados para a supressão de ruídos. Placas de EPS são aplicadas sobre a laje do edifício, ocupando todos os pisos dos ambientes e, junto às paredes, um tipo de rodapé de EPS que ultrapassa 5cm às placas. Sobre essas placas é colocado o contrapiso e o piso de acabamento (Central EPS – Tecnologia e Serviços, s.d.b), como mostrado na Figura 2.11.

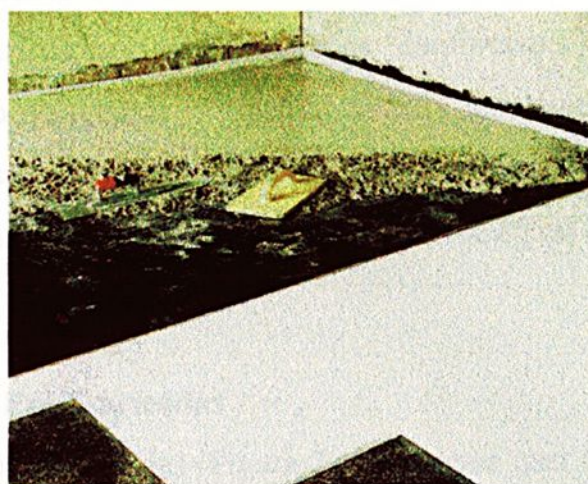


FIGURA 2.11– Placas de EPS são aplicados sobre o piso do edifício [BASF, s.d.]

#### **2.4.4. Concreto Leve**

O concreto leve de EPS é um concreto composto de EPS em forma de pérolas pré-expandidas ou em flocos moídos. Sua principal função é reduzir o peso específico do concreto, tendo ainda uma boa resistência para usos não estruturais. O concreto leve é usado sempre que não houver exigência de resistência a grandes esforços. Devido ao seu baixo peso específico e à sua capacidade de isolamento térmico, sua utilização permite uma economia no custo final da obra, reduzindo o custo da estrutura, facilitando o manuseio, transporte e reduzindo o tempo da obra (Central EPS – Tecnologia e Serviços, s.d. c).

#### **2.4.5. Forros Isolantes e Decorativos**

Quando se deseja um teto liso ou decorado, sob a estrutura de telhados, lajes ou vigas desiguais, instalações de aparelhos de luz ou ar condicionado a solução é a colocação de um forro. As placas de EPS tem boas características para esse uso, são auto-portantes, isolante térmica e acústica, não mancham, podem ser pintadas e são anti-alérgicas (Central EPS – Tecnologia e Serviços, s.d. d).

#### **2.4.6. Isolamento Térmico de Telhados**

Para se construir com resultados confortáveis deve-se projetar isolamento térmico no telhado. As placas de EPS tem espessuras adequadas para se realizar esse isolamento, podendo ser feito diretamente sob a telha, fixado na estrutura de sustentação ou sobre o forro (Central EPS – Tecnologia e Serviços, s.d. d).

#### **2.4.7. Lajes Pré-fabricadas**

Em lajes pré-fabricadas (Figura 2.12) pode-se usar tabelas de EPS ao invés das cerâmicas; isso contribui para se diminuir no peso próprio da laje e auxilia no isolamento térmico da laje.



FIGURA 2.12– Laje Pré-fabricada com Tabelas de EPS

#### 2.4.8. Isolamento Térmico de Dutos de Ar Condicionado

O isolamento térmico é necessário em dutos de ar condicionado, para garantir que o ar chegue aos ambientes na temperatura e umidade adequadas. O isolamento evita também condensação nas faces externas do duto. Sendo assim, o EPS é um ótimo isolante, pois tem boa resistência à compressão e mantém sua espessura mesmo após cintamento ou aplicação de apoios e tirantes (Central EPS – Tecnologia e Serviços, s.d. e).

#### 2.4.9. Painéis Divisórios

Esse painéis são desmontáveis e leves, dando flexibilidade ao espaço em locais de trabalho. Há também a possibilidade de recorte, encaixe, etc., sem deformação do painel. Estes são revestido conforme a escolha do usuário e a espessura do miolo de EPS é determinada de modo que o conjunto fique com 35 ou 50mm (Central EPS – Tecnologia e Serviços, s.d. e).

#### 2.4.10. Juntas de Dilatação

Toda estrutura de concreto com extensão acima de 35m exposta a mudanças de temperatura, deve ter uma junta de dilatação. A execução dessa junta com EPS é facilitada pois ele é usado como forma e permanece na própria junta (Central EPS – Tecnologia e Serviços, s.d. e).

#### 2.4.11. Fundação para Estradas

Como o EPS tem um alto índice de resistência à compressão/densidade ele é indicado para ser usado em fundações de estrada. Onde o solo é frágil, ele tem a vantagem de ser usado como aterro por ter um baixo peso específico. Permite uma boa distribuição de cargas na fundação e elimina problemas com recalque. A Figura 2.12 ilustra essa aplicação (Central EPS – Tecnologia e Serviços, s.d. f).

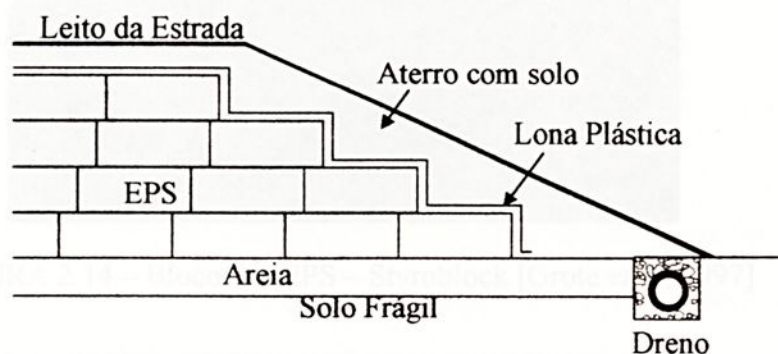


FIGURA 2.12 – EPS aplicado em fundação de estradas

#### 2.4.12. Drenagem em Muro de Arrimo

Para drenar muros de arrimo o método mais barato e eficiente é com placas de EPS drenante. Os muros de arrimo devem ser drenados para que o empuxo não ultrapasse a sua capacidade de contenção. A aplicação de EPS além de proteger a camada de impermeabilização não a pressiona como pontas e arestas de pedras que seriam suas substitutas (Central EPS – Tecnologia e Serviços, s.d. f).

## 2.5. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

### 2.5.1. Uso do bloco de EPS (Styroblock)

Styroblock é um tijolo para execução de parede auto-portante, muito resistente quando já aplicados. São blocos moldados com encaixes que facilitam a montagem da parede e fendas para a colocação da ferragem. Devido a esses encaixes, formam paredes em esquadro e prumo perfeito. A Figura 2.14 ilustra um Styroblock e a Figura 2.15 uma parede executado nesse método.

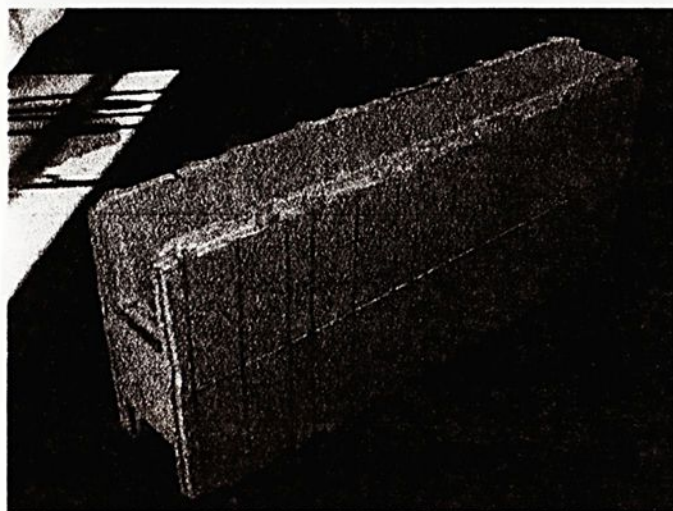


FIGURA 2.14 – Blocos de EPS – Styroblock [Grote *et al*, 1997]

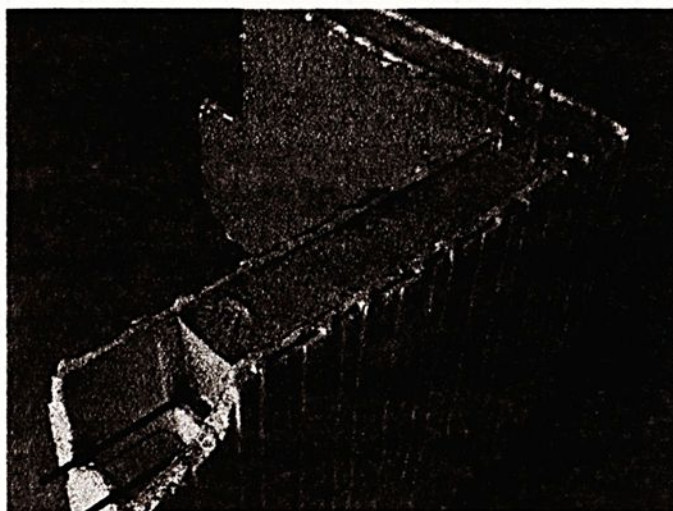


FIGURA 2.15 – Parede de Styroblock

As dimensões do bloco são de 60 x 25 x 12 cm sendo o seu custo de aproximadamente US\$ 1,5 por peça (Grote *et al*, 1997).

O Styrobloc é vazado e possui fendas em seu interior com a finalidade de guiar as armaduras, não deixando que elas mudem de direção na concretagem e também facilitando a instalação de dutos elétricos e hidráulicos conforme mostra a Figura 2.16.



FIGURA 2.16 – Detalhe dos recorte para encaixe da ferragem do Styrobloc

Primeiramente, se preparam as fundações para que estas recebam os blocos de Styrobloc. Depois, estes são encaixados em toda a extensão da obra (paredes) em duas fiadas e posicionadas as duas barras de aço nas fendas próprias para esta finalidade (uma ao lado da outra), em toda a parede conforme ilustra a Figura 2.17. Assim, as paredes vazadas ficam prontas para receber o enchimento de concreto e recomeçar a próxima fase: mais duas fiadas de blocos, a colocação das barras e a concretagem, até terminar a parede na altura desejada.

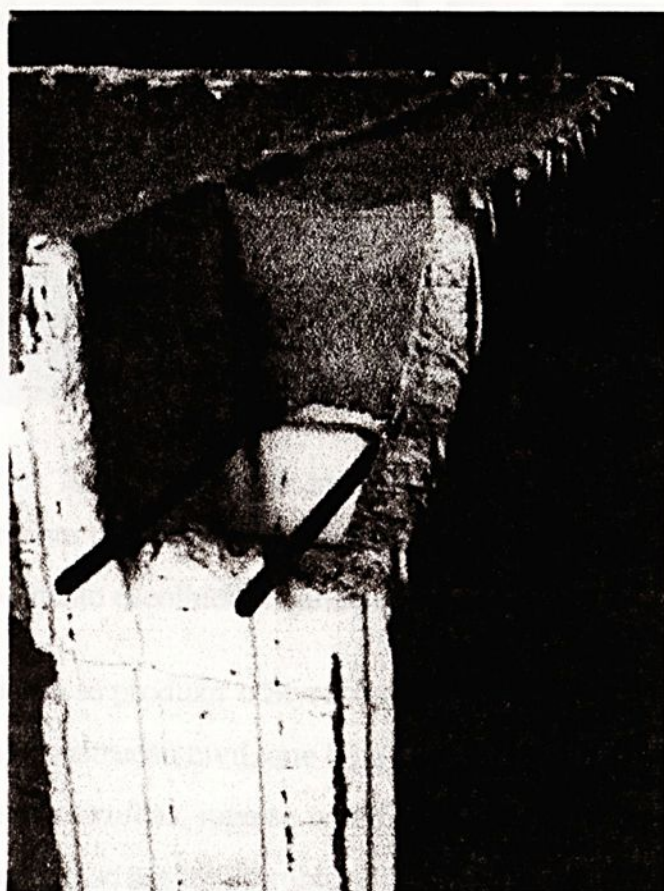


FIGURA 2.17 – Detalhe da ferragem e do concreto interno do Styrobloc

Usa-se para a concretagem o concreto leve: água, cimento, areia e pérolas de poliestireno expandido com o traço em volume de 1/6/8, substituindo a brita pelas pérolas de EPS.

Deve-se tomar o cuidado de não vibrar o concreto, pois o vibrador pode danificar os blocos de EPS. O procedimento correto é bater nas paredes dos blocos durante a concretagem; este é um dos motivos de se concretar a cada duas fiadas.

A Figura 2.18 mostra detalhes do início de uma obra utilizando Styrobloc.



FIGURA 2.18 – Detalhes de uma obra com Styrobloc [BASF, s.d.]

Finalmente quando a parede está pronta ela recebe chapisco dos dois lados e o acabamento escolhido, ficando com uma espessura final de 15cm.

A idéia de se produzir o Styrobloc se deve ao fato do alto desperdício de materiais na construção civil, que hoje em dia é no mínimo 10%, ou seja, a cada dez casas construídas, joga-se uma fora. Quando se produz o Styrobloc, nada se joga fora, caso algum Styrobloc não passe pelo controle de qualidade, ele é esmigalhado e reaproveitado na obra de outra forma (por exemplo, concreto leve).

Deve-se ressaltar que o Styrobloc, assim como os demais materiais constituídos por EPS são excelentes isolantes, com coeficiente de condutibilidade térmica, entre 0,026 e 0,030 kcal/mh°C, proporcionando uma maior resistência térmica em relação a uma parede de alvenaria comum (Silveira *et al*, 1998).

As vantagens do uso dos blocos moldados de EPS (Styrobloc) são:

- a) Parede auto-portante (evita uso de vigas e pilares de concreto);
- b) Dividem os espaços, são estruturais e proporcionam uma construção sólida;
- c) Rapidez de execução. O assentamento é rápido porque os blocos são maiores que os convencionais;
- d) Dispensa colher e argamassa;

- e) Paredes perfeitas, os blocos auto-gabaritam os prumos, níveis e esquadros;
- f) Obra limpa, aproveitamento de 100% do material, sem desperdícios;
- g) Fácil instalação dos dutos para embutir a rede elétrica e hidráulica;
- h) Qualquer acabamento, compatibilidade total com os materiais existentes no mercado;
- i) Melhor isolamento, o bem estar do ser humano ficará totalmente preservado no ambiente interno da edificação, ele será agradável qualquer que seja a temperatura externa, frio ou calor.

A aplicação do Styroblock também apresenta algumas desvantagens em relação ao tijolo comum:

- a) Não é possível reformar uma parede sem destruí-la;
- b) Limitação do número de pavimentos, no caso de prédios, no máximo quatro.
- c) Alto custo em pequenas obras.

### 2.5.2. Uso de placas de EPS

O formato das placas de EPS são de 50 x 100cm e suas espessuras são superiores a 3cm, como exemplificado na Figura 2.19.

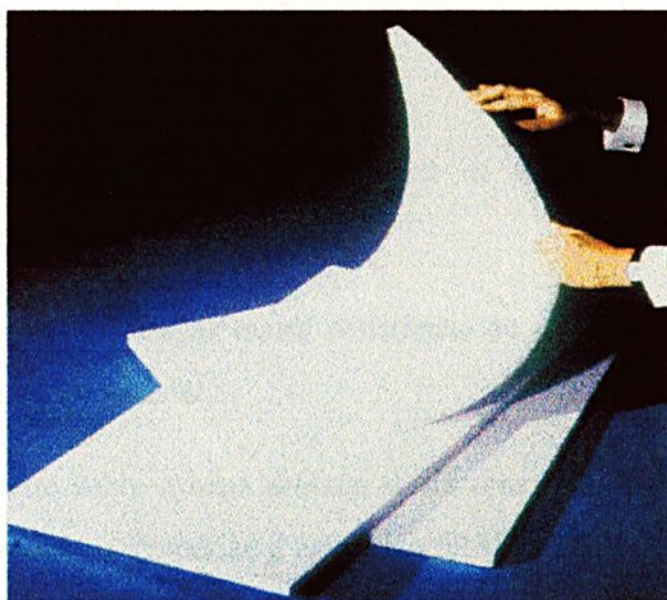


FIGURA 2.19 – Placas de EPS [BASF, s.d.]

Podem também serem compostas e com encaixes perimetrais para evitar as pontes térmicas pelas juntas.

A aplicação do adesivo se efetua sobre as placas isolantes, na forma de tiras ao redor desta. Com a argamassa pode-se tirar as irregularidades da alvenaria com aproximadamente 0,5 a 2,0cm; diferenças maiores devem ser eliminadas antes com um reboque de compensação.

Para assegurar a imobilização das placas usam-se fixadores mecânicos (tacos plásticos) em uma proporção de duas a oito unidades por  $m^2$  dependendo do estado do muro de suporte.

Para reforço de cantos ou arestas de janelas e porta pode-se usar perfis metálicos perfurados e galvanizados (facilitando a instalação) ou com tratamento de proteção. Nos cantos, os painéis são montados alternadamente entre si e se cortam os excessos.

Sobre as placas de EPS, se aplica uma capa de resina sintética misturada com cimento. Dentro desta capa se incorpora um tecido vítreo especial, resistente ao cimento e cobre-se com o composto de resinas sintéticas com cimento.

Essa armadura deve chegar a cobrir as zonas como os cantos da construção, arestas de portas e janelas, etc.

No caso de se desejar maior resistência ao impacto, pode-se colocar outra capa de tecido adicional.

Finalmente sobre a capa armada se dá uma pintura final com resina sintética, resistente a intempéries e agentes atmosféricos, com cores e tons de acordo com o desejado. A Figura 2.20 ilustra uma parede composta com esse método de isolamento exterior com placas de EPS.



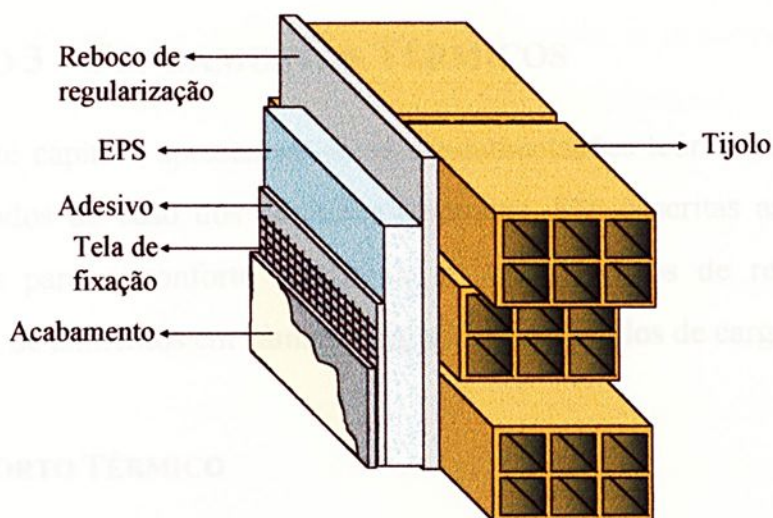


FIGURA 2.20 – Alvenaria com isolamento exterior de EPS

### 3.1. CONFORTO TÉRMICO

A palavra conforto térmico refere-se ao estado de espírito que resulta da interação de fatores físicos e psicológicos. Na Roma antiga já existiam sistemas para aquecimento de águas e ambientes interligados por túneis subterrâneos, com o ar quente subindo e o ar frio descendo, criando um efeito de refrigeração. Os romanos também utilizavam sistemas de carga térmica.

Com o passar do tempo várias civilizações desenvolveram seus métodos para garantir seu conforto. Nos Estados Unidos, no deserto do Colorado, foram construídas habitações protegidas do sol nas encostas de pedra, onde no verão estas fazem sombra e no inverno o sol incide nas habitações para aquecê-las. No Norte da China as construções foram feitas no subsolo, onde as temperaturas são mais amenas.

No período entre as décadas de 1920 a 1940, surgiu o Estilo Internacional referente à arquitetura. Le Corbusier criou modelos como o Modulor, que relacionava o espaço arquitetônico projetado com o homem (Hoesliger & Girberget, 1971). Porém, poucos profissionais conseguiram entender esse estilo e acabaram transformando a arquitetura em motivos de fachadas e esquecendo do conforto ambiental.

Uma ponta importante na arquitetura foi a criação dos edifícios comerciais com revestimentos externos de vidro, símbolo do poder, utilizando sistemas sofisticados de ar condicionado e estruturas grandiosas de concreto e aço, sendo absorvidos no mundo todo sem considerar as condições climáticas e culturais dos locais.

## CAPÍTULO 3 – FUNDAMENTOS TÉRMICOS

Neste capítulo apresentam-se as fundamentações teóricas necessárias para os estudos de caso dos capítulos seguintes. São descritas as variáveis constituintes para o conforto térmico e os equipamentos de refrigeração, conservação de alimentos em câmaras frigoríficas e cálculos de carga térmica.

### 3.1. CONFORTO TÉRMICO

A preocupação com o conforto térmico vem de muito tempo atrás. Na Roma antiga já existiam sistemas para aquecimento de água e ambientes interligados por túneis subterrâneos com fornalhas aquecendo o ar, e assim aquecendo o ambiente (Architettura bioclimática, 1983).

Com o passar do tempo várias civilizações desenvolveram seus métodos para garantir seu conforto. Nos Estados Unidos, no deserto do Colorado, foram construídas habitações protegidas do sol nas encostas de pedra, onde no verão estas faziam sombra e no inverno o sol incidia nas habitações para aquecê-las. No Norte da China as construções foram feitas no subterrâneo, onde as temperaturas são mais amenas.

No período entre as décadas de 1920 a 1940, surgiu o Estilo Internacional referentes à arquitetura; Le Corbusier criou modelos como o Modulor, que relacionava o espaço arquitetônico projetado com o homem (Boesiger & Girsberser, 1971). Porém, poucos profissionais conseguiram entender esse estilo e acabaram transformando a arquitetura em motivos de fachadas e esquecendo do conforto ambiental.

Um ponto importante na arquitetura foi a criação dos edifícios comerciais com revestimentos externo de vidro, símbolo do poder, contendo sistemas sofisticados de ar condicionado e estruturas grandiosas de concreto e aço, sendo absorvidos no mundo todo sem considerar as condições climáticas e culturais dos locais.



Atualmente, os estilos arquitetônicos como o pós-modernismo, o “*high-tech*”, o construtivismo e o deconstrutivismo mostram a preocupação dos novos profissionais com a recuperação da qualidade das edificações, incluindo o conforto ambiental e eficiência do uso da energia. Para que isso aconteça deve-se levar em conta as condições climáticas de cada região, as humanas e as construtivas.

A Figura 3.1 ilustra a carta bioclimática adotada para o Brasil, que foi desenvolvida sobre o diagrama psicrométrico e relaciona a temperatura do ar e a umidade relativa. Verificando os valores dessas variáveis para os principais períodos do ano, pode-se obter indicações para o estudo bioclimático mais adequado a ser adotado no edifício em estudo. Essa carta está separada em nove zonas: a de conforto, de ventilação, resfriamento evaporativo, de massa térmica para resfriamento, de ar condicionado, de umidificação, de massa térmica para aquecimento, de aquecimento solar passivo e de aquecimento artificial (Lamberts *et al*, 1997).

- |   |   |   |  |
|---|---|---|--|
| 1 | Zona de Conforto                        | 5 | Zona de Ar-Condicionado                |
| 2 | Zona de Ventilação                      | 6 | Zona de Umidificação                   |
| 3 | Zona de Resfriamento Evaporativo        | 7 | Zona de Massa Térmica para aquecimento |
| 4 | Zona de Massa Térmica para resfriamento | 8 | Zona de Aquecimento Solar Passivo      |
|   |   | 9 | Zona de Aquecimento Artificial         |

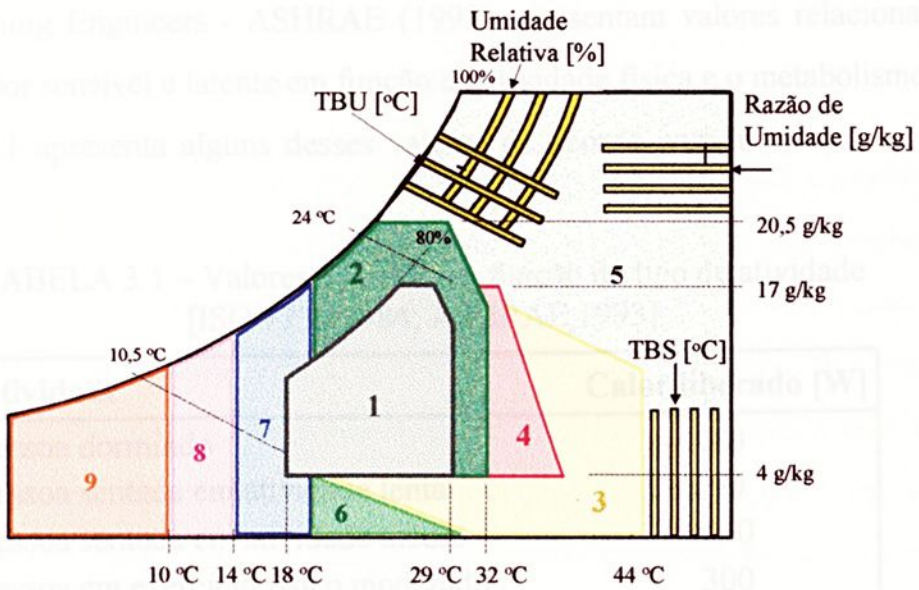


FIGURA 3.1 – Carta bioclimática para o Brasil

### 3.1.1. Condições Humanas

O conforto térmico depende de cada indivíduo, logicamente dentro de alguns limites, pois o ser humano é um homeotérmico (temperatura interna constante), cuja manutenção de sua temperatura revela-se um compromisso com a temperatura ambiente (Carvalho, 1970).

Sendo o ser humano munido de um sistema termorregulador, este pode sobreviver a variações de temperatura ambiente, alterando seu metabolismo e sua troca de calor com o meio externo como, por exemplo, intensificando sua transpiração, contraindo ou dilatando os vasos sanguíneos periféricos (próximos a pele), etc.

As atividades físicas e o tipo de roupa que o indivíduo usa também influenciam no conforto térmico. Quanto maior a atividade física, maior será o calor trocado com o ambiente, pois o metabolismo aumenta, gerando mais calor. Para o correto dimensionamento de um equipamento de refrigeração ou aquecimento de um ambiente deve-se verificar o tipo e o nível de atividades físicas desenvolvidas; a norma International Organization for Standardization - ISO 7730 (1984) e a American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers - ASHRAE (1993) apresentam valores relacionados com o calor sensível e latente em função da atividade física e o metabolismo. A Tabela 3.1 apresenta alguns desses valores de acordo com as normas acima citadas.

TABELA 3.1 – Valores de calor em função do tipo de atividade  
[ISO 7730,1984; ASHRAE,1993]

Atividade	Calor liberado [W]
Pessoa dormindo	80
Pessoa sentada em atividade lenta	90
Pessoa sentada em atividade média	130
Pessoa em exercício físico moderado	300
Pessoa em exercício físico médio	470
Pessoa em exercício físico acelerado	800

A pele troca calor por condução, convecção e radiação e para o indivíduo vestido, essas trocas são feitas com a roupa e o ambiente. Portanto, quanto menor a resistência térmica da roupa maior será a troca com o meio ambiente.

### 3.1.2. Condições de Exposição

O desempenho térmico de uma edificação está vinculado às condições ambientais a que esta está submetida, chamadas de condições de exposição, classificadas em condições climáticas e condições de implantação segundo Akutsu (1989). As condições climáticas são caracterizadas, de acordo com Mascaro (1983), em:

- *Temperatura do ar exterior*: a variação da temperatura exterior resulta dos fluxos das grandes massas de ar e da diferente recepção da radiação do sol de região para região. A velocidade do ar influencia nos fatores locais de temperatura, isto é, se a velocidade do ar é pequena, a temperatura tem uma influencia majorada pelos fatores locais. Para uma dada temperatura a sensação de conforto térmico pode ser diferente em função, por exemplo, do vento e da umidade local.
- *Umidade relativa*: é resultante da evaporação da água contida nos mares, rios, lagos e na terra, bem como da transpiração dos vegetais. A umidade relativa influencia na transmissão de radiação solar: quando a umidade relativa é alta, o vapor d'água e as nuvens absorvem a radiação solar e redistribuem-na na atmosfera, diminuindo os efeitos da radiação direta. Locais secos tendem a ter dias mais quentes e noites mais frias e em locais úmidos essas variações são atenuadas. A capacidade da pele em evaporar o suor, quando da ocasião de alta umidade, é prejudicada dando uma sensação de desconforto.

- *Velocidade e direção dos ventos*: a variação da velocidade e direção dos ventos dependem do desequilíbrio da radiação entre as latitudes baixas e altas e pelas diferenças de temperatura entre as massas de ar, que provocam o deslocamento da área de maior pressão (ar frio e pesado) para a área de menor pressão (ar quente e leve).
- *Radiação solar direta e difusa*: a radiação solar é a principal fonte de energia como calor e luz. A radiação pode ser direta, que é a parcela que atinge diretamente a terra e sua intensidade depende da altitude solar ( $\gamma$ ) e do ângulo de incidência ( $\theta$ ) dos raios solares em relação a superfície, sendo uma das principais influências nos ganhos térmicos. Quando parte da radiação global sofre uma reflexão, tendo sua direção alterada diz-se ser difusa, que é tanto maior quanto mais o céu estiver nublado e a parcela de radiação direta será menor.

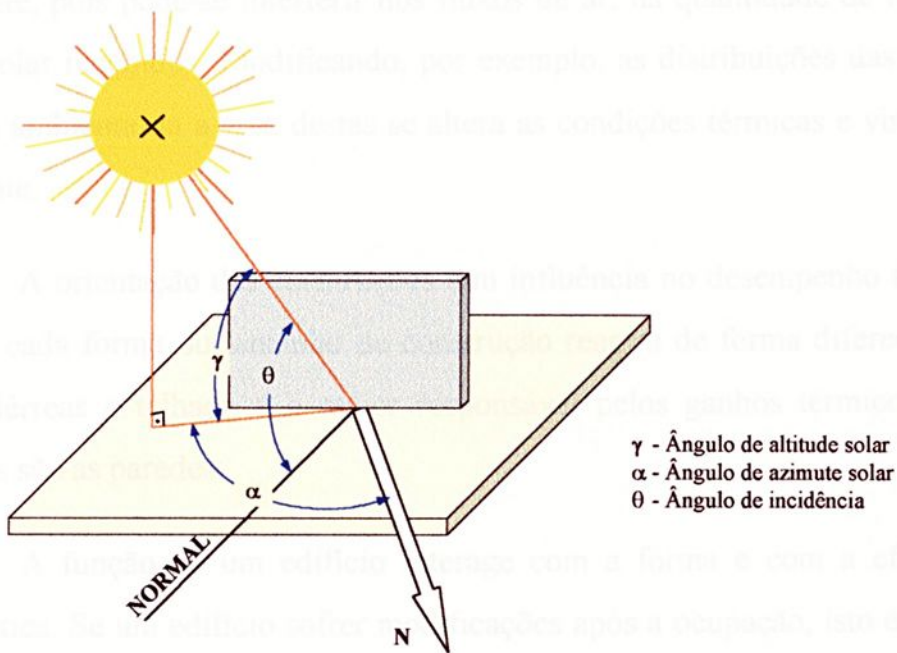


FIGURA 3.2 – Ângulos de altitude solar, azimute solar e incidência [Lamberts *et al*, 1997]

- *Latitude e longitude*: as variações com a altura e região são influenciadas pelas características de cada local em termos de massas de ar, temperatura, ventos, umidade e principalmente pela incidência solar que é diferente para cada região do planeta devido ao ângulo de incidência.

Todas essas condições climáticas variam também com o microclima e o mesoclima, isto é, próximo das edificações o clima tem suas particularidades devido a forma da edificação e sua função, e sofre também a influência da vegetação e topografia, como por exemplo em praias, florestas, vales, cidades, montanhas, etc.

### 3.1.3. Condições da Edificação

O modelo de cada construção influencia no conforto térmico do ambiente, pois pode-se interferir nos fluxos de ar, na quantidade de luz e no calor solar recebidos. Modificando, por exemplo, as distribuições das janelas em um ambiente ou a área destas se altera as condições térmicas e visuais do ambiente.

A orientação das construções tem influência no desempenho térmico, porém cada forma ou tamanho de construção reagirá de forma diferente. Em casas térreas o telhado é o maior responsável pelos ganhos térmicos e em prédios são as paredes.

A função de um edifício interage com a forma e com a eficiência energética. Se um edifício sofrer modificações após a ocupação, isto é, mudar de residencial para comercial este pode se tornar desconfortável, pois a quantidade de pessoas que usarão o espaço projetado é diferente para cada tipo de ocupação, incluindo os equipamentos que também serão diferentes.

Para se verificar o comportamento de um edifício deve-se estudá-lo e simular o seu desempenho térmico.

### **3.1.4. Equipamentos de aquecimento e refrigeração**

Os equipamentos de refrigeração e de aquecimento são usados para interferir no microclima do ambiente para que este seja mais confortável termicamente. Nem sempre podem-se usar as condições naturais para promover o conforto necessário aos usuários. Em edifícios comerciais é praticamente obrigatório o uso de climatização, pois existem equipamentos que dependem da temperatura e umidade para um bom funcionamento, e o desempenho dos funcionários podem ser alterados também conforme as condições ambientais, com uma temperatura elevada pode-se ter uma baixa produtividade e pode-se até perder clientes pelo desconforto. Os sistemas de climatização artificial de uso mais comum são os ventiladores mecânicos, os de refrigeração e de aquecimento (Lamberts *et al*, 1997).

#### *Ventilação mecânica*

Esses sistemas são basicamente os ventiladores e os exaustores. Os exaustores criam uma pressão negativa que suga o ar quente e impuro para fora do ambientes. Os ventiladores podem se apresentar como móveis ou fixos. As vantagens deste sistema são a economia de energia, baixo custo, facilidade de instalação e o fato de refrescar o usuário sem alterar a temperatura e umidade do ar.

#### *Sistemas de aquecimento*

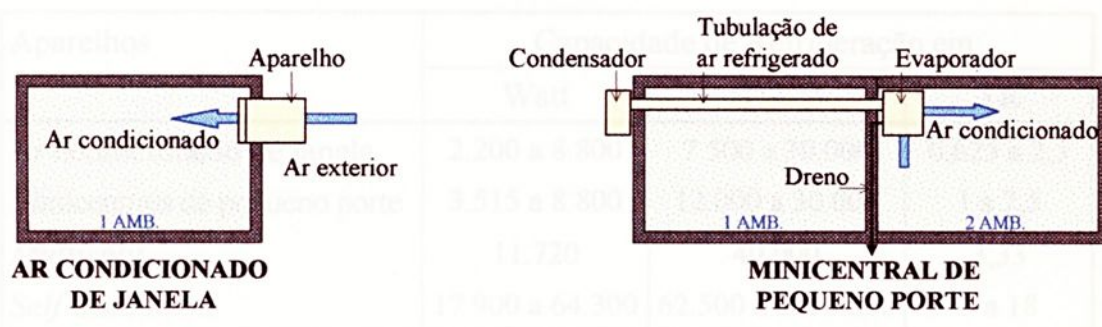
Em locais de clima frio, são usados vários tipos de sistemas de aquecimento, por exemplo lareiras, a energia para esses equipamentos podem ser a eletricidade, o gás, o óleo ou carvão. O aquecedor elétrico é o mais usado, pela sua facilidade de instalação, seu baixo custo e ausência de combustão. Os



principais aquecedores disponíveis no mercado são, segundo Lamberts *et al* (1997): radiador incandescente (a corrente elétrica aquece um elemento cerâmico que irradia calor através de um refletor parabólico); painel radiador de baixa temperatura (uma resistência elétrica aquece um tubo imerso em água ou óleo circulando em um radiador); radiador por convecção elétrico com ventilação forçada (o ar passa por uma resistência aquecida) ou radiador por convecção natural (ar ambiente é induzido a passar pela resistência aquecida); bomba de calor (ou ar condicionado de janela com o ciclo reverso) e aquecedor central (ar ou água aquecido em um local e depois distribuídos para outros ambientes por tubulação).

### *Sistemas de resfriamento*

O ar condicionado é o sistema mais usado hoje em dia para o controle da temperatura, umidade e pureza, simultaneamente atendendo as necessidades dos ambientes internos. Atualmente, os sistemas mais usados para resfriamento são: ar condicionado de janela (ar externo passa através do aparelho, resfriando e sendo entregue ao ambiente interior); minicentraís de pequeno porte (evaporador separado de condensador, podendo atingir ambientes longe do ambiente externo em até 30m); “*multisplit*” (refrigeração para vários ambientes por meio de dutos); “*self contained*” (capacidade maior de refrigeração – rede de dutos), “*chillers e fan-coil*” (rede de distribuição de água gelada para trocadores de calor). A Figura 3.3 ilustra esses equipamentos e a Tabela 3.2 mostra a capacidade de refrigeração.



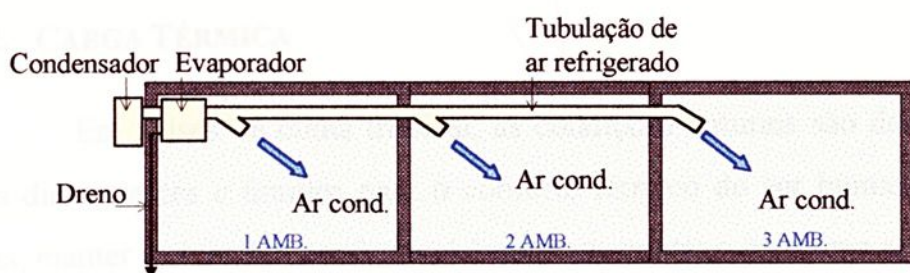
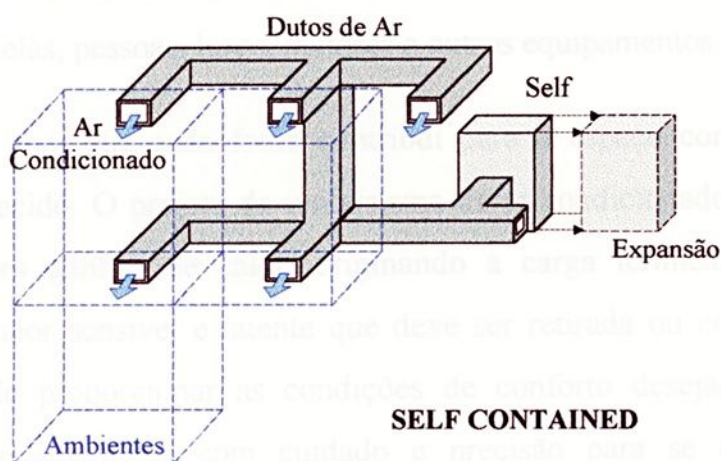
**MULTISPLIT****SELF CONTAINED****CHILLER E FAN-COIL**

FIGURA 3.3 – Equipamentos de Refrigeração

TABELA 3.2 – Capacidade de refrigeração dos aparelhos [Lamberts *et al*, 1997]

Aparelhos	Capacidade de Refrigeração em:		
	Watt	BTU/h	TR
Ar condicionado de janela	2.200 a 8.800	7.500 a 30.000	0,625 a 2,5
Minicentraís de pequeno porte	3.515 a 8.800	12.000 a 30.000	1 a 2,5
<i>Multisplit</i>	11.720	40.000	3,33
<i>Self Contained</i>	17.900 a 64.300	62.500 a 2250.000	5 a 18

### 3.2. CARGA TÉRMICA

Em países de clima tropical, as condições naturais são desfavoráveis nos dias quentes e úmidos para o conforto térmico do ser humano. Em tais dias, manter um recinto confortável é uma luta contra o calor que se introduz a partir de muitas fontes, isto é, um recinto condicionado é aquecido pelas paredes, teto, janelas, pessoas, luzes, motores e outros equipamentos.

O calor com que cada fonte contribui para o espaço condicionado deverá ser conhecido. O projeto de um sistema de ar condicionado baseia-se no cálculo destes ganhos de calor, originando a carga térmica, que é a quantidade de calor sensível e latente que deve ser retirada ou colocada no recinto a fim de proporcionar as condições de conforto desejadas. Esses cálculos deverão ser feitos com cuidado e precisão para se obter uma instalação satisfatória, pois um sistema de ar condicionado sub-dimensionado nunca atinge o conforto desejado e superdimensionado, por outro lado, constitui em perdas com energia.

Os dados necessários ao projeto de instalação de ar condicionado são apresentados a seguir:

- Plantas de arquitetura;
- Cortes;
- Vistas;
- Coordenadas geográficas do local;
- Número de ocupantes do recinto;
- Posição do sol; em face do prédio;
- Fim a que se destina a instalação (equipamentos, industrial, etc.);
- Local para a casa de máquinas;
- Tipo de insulflamento e retorno;
- Fontes de calor no recinto;

- Iluminação;
- Regime de ocupação;
- Prédios vizinhos;
- Cores das paredes;
- Telhados e janelas;

Em seguida deverão ser fixados dois parâmetros e calculados os outros, como por exemplo: a umidade relativa, temperaturas de bulbo seco e úmido, ponto de orvalho para o ar exterior e interior.

### **3.2.1. Método para cálculo de carga térmica**

A carga térmica geralmente expressa em BTU/h, kcal/h, ou kW, é a quantidade de calor que deve ser introduzida ou retirada do recinto a ser condicionado através de calor de condução, de insolação, dutos, pessoas, equipamentos, infiltração e ventilação.

Calcula-se a carga térmica, com o qual se dimensiona corretamente os equipamentos de refrigeração a serem instalados a partir das informações definidas para o projeto: utilização do ambiente, dimensões (altura, largura e comprimento), localização do ambiente a ser estudado (local com insolação ou à sombra) e tipo de material utilizado na construção (Creder, 1990).

Muitos fatores influenciam no cálculo da carga térmica correta: o diferencial entre as temperaturas do exterior e do interior do ambiente (sempre acontece alguma troca de calor entre o ambiente externo e a parte interna do recinto, mesmo através de paredes com isolamento), o calor liberado pelas pessoas ou pelo produto (dependendo do produto a ser armazenado se verifica as condições desse armazenamento: temperatura, umidade, concentração de oxigênio e gás carbônico, o tipo de embalagem, distribuição do produto no ambiente, se a armazenagem é de longa ou curta duração, etc.), o número de

peças que trabalharão dentro do ambiente, o número de portas e a quantidade de vezes que elas serão abertas ao longo do dia, a presença de aparelhos elétricos (iluminação, motores, computadores, etc.) e outros. Os fatores principais são os seguintes.

1. Infiltração através das paredes: o calor atravessa as paredes, o teto e o piso dos ambientes refrigerados, ocasionando diferença entre a temperatura do ambiente e o ar externo mais quente. A quantidade de calor depende da diferença de temperatura, do tipo do material de fechamento, da superfície externa das paredes e do efeito da irradiação solar.
2. Troca de ar: cada vez que a porta do ambiente é aberta, o ar externo com temperatura diferente do interno se infiltra no ambiente mudando as condições internas e por consequência mudando a carga térmica total.
3. Produto: produto submetido a temperatura maior do que aquela interna (temperatura do mesmo), numa câmara frigorífica cede calor até sua temperatura abaixar ao calor de conservação. A carga térmica total, devido ao produto, é referente a uma ou mais das seguintes causas:
  - a) Calor sensível do produto: a carga térmica sensível é função do peso do produto ao qual se submete o tratamento, da variação de temperatura do produto e do seu calor específico (que é a quantidade de calor relativa ao resfriamento de  $1^{\circ}\text{C}$  por kg do produto);
  - b) Calor latente do produto: a carga térmica latente é a quantidade de calor relativa ao congelamento do produto, e é função do peso do produto a congelar e do seu calor latente de congelamento;
  - c) Calor de respiração do produto: alguns produtos, como a fruta fresca e as verduras, permanecem vivos durante a conservação na câmara, e estão sujeitos a continuarem com reações químicas que produzem calor de respiração.

4. Insolação: a radiação emitida pelo sol é responsável pela maior parcela da carga térmica nos cálculos da carga térmica. Quanto mais escura for a superfície maior será a radiação solar absorvida pela parede ou cobertura, o contrário das cores claras, que refletem mais a radiação. Nos cálculos deve-se considerar a cor e a refletividade da superfície exterior, o grau de limpeza da atmosfera, o ângulo com que os raios solares incidem na superfície, as coordenadas geográficas do local. Considera-se também a transmissão de calor do sol através de superfícies transparentes (vidro).
5. Pessoas: o calor latente e sensível emitido pelas pessoas variam conforme o tipo de atividade física desenvolvida nos locais refrigerados, se o indivíduo estiver em atividade física violenta, o corpo humano pode emitir até cinco vezes mais calor do que em repouso.
6. Equipamentos: o calor emitido pelos motores elétricos e outros aparelhos adicionam carga térmica devido ao seu funcionamento assim como em elevadores de carga, transportes, etc.

Alguns valores do coeficiente de condutividade térmica dos materiais para cálculo de condução ou infiltração são fornecidos pela Tabela 3.3 de acordo com Creder (1990) e Trane (1979).

TABELA 3.3 – Condutividade Térmica

Elementos	kcal/h m °C
Emboço ou reboco	0,989
Alumínio	197,76
Cortiça	0,045
EPS	0,03009
Concreto leve	0,050
Tijolo maciço	0,774
Tijolo cerâmico furado	0,602
Bloco de concreto	0,170
Concreto com areia e pedra	1,48
Ladrilho ou cerâmica	0,11
Vidro celular	0,04

### ***Equacionamento para o cálculo da carga térmica em edifícios***

Esse desenvolvimento foi realizado conforme Creder (1990) e Silveira (1994). A carga térmica total a ser retirada do ambiente é dada pela somatória dos itens seguintes

□ Calor de Condução – Calor Sensível

Para calcular o calor de condução da alvenaria o método usado foi a analogia elétrica conforme Holman (1983), onde tem-se que:

$$Q_{\text{cond.alvenaria}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{eq}}} \text{ [kcal / h]} \quad (3.1)$$

$$\text{onde: } R_{\text{eq}} = R_{\text{econv}} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{\text{iconv}} \quad (3.2)$$

$$R_n = \frac{e_n}{K_n \times A} \quad (3.3)$$

$$R_{\text{econv}} = \frac{1}{h_e \times A} \quad (3.4a)$$

$$R_{\text{iconv}} = \frac{1}{h_i \times A} \quad (3.4b)$$

sendo:

- Q - Taxa de fluxo de calor
- $\Delta T$  - Diferença de temperatura das superfícies externa e interna
- $R_{\text{eq}}$  - Resistência equivalente
- $R_{\text{econv}} / R_{\text{iconv}}$  - Resistência de convecção das superfícies externa e interna
- $R_{1/2/3}$  - Resistências das camadas que compõe a alvenaria
- K - Coeficiente de condução térmica
- A - Área
- h - Coeficiente de convecção
- e - Espessura da camada

### □ Calor devido à Insolação

Para se fazer a estimativa de carga térmica devido à insolação, deve-se verificar o horário de utilização da dependência e fazer para a máxima incidência do sol. Aqui no hemisfério sul a parede que recebe maior insolação é a voltada para oeste e entre 16 e 17 h.

A energia do sol incide em uma superfície transparente e subdivide-se em três partes: a que é refletida ( $q_1$ ), a absorvida pelo vidro ( $q_2$ ) e a que atravessa o vidro ( $q_3$ ) conforme Figura 3.4. O calor total é dado por:

$$Q_J = q_1 + q_2 + q_3 \quad (3.5)$$

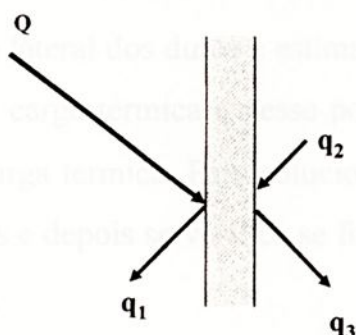


FIGURA 3.4 – Energia do sol incidindo sobre uma superfície transparente

Mas para efeito de carga térmica a parcela  $q_3$  é a que influencia nos cálculos, portanto só esta será calculada. Portanto:

$$Q_J = q_3 = U \times A_J \quad (3.6)$$

sendo:  $U$  - Coeficiente global de transmissão

Caso as janelas sejam protegidas por cortinas ou toldos, deve-se multiplicar os valores de  $Q$  obtidos pelos seguintes coeficientes de redução:

- Toldos ou persianas externas - 0,15 – 0,20
- Persianas internas e refletente - 0,50 – 0,66
- Cortinas internas brancas - 0,25 – 0,61

### *Transmissão de Calor do sol através de superfícies opacas*

As paredes, lajes e telhados transmitem a energia solar para o interior dos recintos por condução e convecção, segundo a seguinte fórmula:

$$Q_{SO} = A \cdot U \cdot [(T_e - T_i) + \Delta t] = \frac{[(T_e - T_i) + \Delta T]}{Re q} \quad (3.7)$$

#### □ Calor dos Dutos – Calor Sensível

A carga térmica devido aos dutos é:

$$Q_D = A \cdot U \cdot \Delta t = \frac{(T_e - T_i)}{Re q} \quad (3.8)$$

A área (A) é a lateral dos dutos é estimada, pois a dimensão dos dutos é estimada a partir da carga térmica e nesse ponto dos cálculos ainda não se tem o valor total da carga térmica. Para solucionar esse problema estima-se o traçado e as dimensões e depois se verifica se foi adequado, com uma margem de erro inferior a 10%.

#### □ Calor devido as Pessoas – Calor Sensível e Latente

O ser humano emite tanto calor sensível como latente, o nível de emissão está relacionado com a temperatura ambiente, isto é, quanto maior a temperatura, maior a parcela de calor latente liberada. O cálculo é o número de pessoas vezes o fator de calor latente e calor sensível a uma temperatura de 25°C, conforme Creder (1990).

##### Calor Sensível

$$Q = \text{número de pessoas} \times \text{calor sensível liberado por pessoa} \quad (3.9)$$

##### Calor Latente

$$Q = \text{número de pessoas} \times \text{calor latente liberado por pessoa} \quad (3.10)$$

□ Calor Devido aos Equipamentos – Calor sensível e latente

Deve-se considerar todos os equipamentos que adicionam carga térmica ao sistema, isto é, luzes, computadores, motores, equipamentos etc.

□ Calor devido à infiltração – Calor Sensível e Latente

Para esse item usa-se as frestas das portas e janelas para os cálculos.

Tem-se para o calor sensível:

$$Q_s = V \times 0,29 \times (t_e - t_i) \quad (3.11)$$

sendo:

$Q_s$  - Calor sensível devido à infiltração

$V$  - Vazão de ar em m<sup>3</sup>/h

$T_e/T_i$  - Temperatura externa/interna

E para o calor latente, tem-se:

$$Q_L = 583 \times C \quad (3.12)$$

sendo:

$$C = (UE_2 - UE_1) \times \gamma \times Q \quad (3.13)$$

$Q_L$  - Calor latente devido à infiltração

$UE_2$  - Umidade específica do ar no interior

$UE_1$  - Umidade específica do ar na entrada

$\gamma$  - peso específico do ar na entrada



### ***Equacionamento para o cálculo da carga térmica em câmaras frigoríficas***

Esse desenvolvimento foi realizado conforme Costa (1976). A carga térmica total a ser retirada do ambiente é dada pela somatória dos itens seguintes

□ Calor de Condução – Calor Sensível

É dado pelas equações 3.1 a 3.4.

□ Calor devido à Insolação

É dado pelas equações 3.5, 3.6 e 3.7.

□ Cálculo do calor de infiltração

O calor de infiltração é a parcela térmica correspondente ao calor do ar de ventilação que atinge a câmara frigorífica através de suas aberturas.

$$Q_{\text{infilt}} = V \cdot \gamma\Delta H \quad (3.14)$$

Sendo:

$V$  - é a vazão do ar exterior em  $\text{m}^3$  por dia o qual pode ser calculada pelo índice de renovação diária de ar.

$\gamma\Delta H$  - é a diferença de entalpia por unidade de volume, referido às condições da câmara frigorífica, entre o ar exterior e o ar da câmara.

Os valores adotados de  $V = 22,0 \text{ m}^3/\text{dia}$  e de  $\gamma\Delta H = 26,42 \text{ kJ/kg}$  são conforme Costa (1976).

□ Cálculo do calor do produto

A parcela de carga térmica devido ao produto pode ser constituída pelos seguintes calores:

- calor latente de congelamento;
- calor sensível de refrigeração após o congelamento;
- calor vital.

$$Q_{\text{prod}} = G[C(T_i - T_o) + r + C'(T_o - T_{fo})] \quad (3.15)$$

sendo:

- G - Peso do produto em trânsito
- $T_i$  - Temperatura inicial do produto
- $T_o$  - Temperatura de congelamento do produto
- $T_{fo}$  - Temperatura final do produto
- r - Calor latente de congelamento do produto
- C - Calor específico do produto antes do congelamento
- C' - Calor específico do produto após o congelamento

□ Cálculo do calor de iluminação

A dissipação provocada pela iluminação é dada por:

$$Q_{\text{ilum}} = 0,86 \times \tau \times W \quad (3.16)$$

sendo:

- $\tau$  - é o número de horas de funcionamento por dia de equipamento
- W - potência da lâmpada em Watts

□ Cálculo do calor de pessoas

As pessoas por sua vez liberam pelo seu metabolismo, uma quantidade de calor que é dado por :

$$Q_{\text{pessoas}} = n \times q \times \tau \quad [\text{kcal/h}] \quad (3.17)$$

sendo:

- n - número de pessoas
- q - calor liberado por pessoa/hora, o qual cresce com o abaixamento de temperatura
- $\tau$  - quantidade de horas de funcionamento da câmara por dia

### 3.3. CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

#### 3.3.1. Generalidades

Há muitos séculos atrás já existiam processos para preservação de alimentos. A utilização da preservação em escala industrial começou no fim do século XVIII com a descoberta da técnica da esterilização pelo calor. Seguido de outros processos como, por exemplo, a secagem artificial, a defumação, a conservação pelo sol, etc. e outra técnica era a conservação dos alimentos pelo frio, como em adegas, gelo natural, neve misturada com sais, etc. Na metade do século XIX foi inventada a máquina frigorífica, inicialmente os alimentos eram apenas resfriados e em 1860 verificou-se que esses poderiam aumentar o seu tempo de conservação se a temperatura fosse menor que  $0^{\circ}\text{C}$ , isto é, se fossem congeladas (Costa, 1976).

Atualmente existem técnicas suplementares de conservação como, por exemplo, o uso de atmosfera controlada, agentes químicos, proteções superficiais, etc.

Os alimentos são constituídos, geralmente, de minerais e compostos orgânicos. Em relação a composição química eles são classificados em substâncias formadoras (proteínas), substâncias energéticas (glicídeos e lipídios) e substâncias protetoras (sais minerais e as vitaminas).

As alterações dos alimentos, com o tempo, podem ser classificadas como:

- *Físicas*: devidas a evaporação da água, que está presente em sua constituição, provocando o seu resecamento e volatizando elementos aromáticos que alteram o odor e o sabor;

- *Químicas*: são devidas a intervenção das enzimas provocando endurecimento (rigidez pós morte) e depois a decomposição, caracterizado pelo mau odor;
- *Biológicas*: alteração decorrente da rápida multiplicação dos germes.

### **3.3.2. Influências da temperatura, umidade relativa e movimentação do ar**

A variação da temperatura pode intensificar as alterações dos alimentos, descritas no item anterior. A elevação da temperatura provocam inicialmente uma diminuição da vitalidade dos microorganismos, impossibilitando a reprodução e posteriormente sua morte, a esterilização é obtida a partir de 115°C durante um tempo superior a 15 min dependendo ser for líquido ou sólido (Costa, 1976). Em relação a redução de temperatura verifica-se que a velocidade das reações sofridas pelos alimentos diminui rapidamente. E os microrganismos, a baixa temperatura, podem deixar de se multiplicar mas na maioria das vezes eles não morrem.

A umidade relativa do ar influi na perda do peso dos produtos desidratáveis, conforme aumenta a umidade relativa do ar essa perda diminui e também favorece a multiplicação dos microorganismos. Esse aumento só pode ocorrer com temperaturas mais baixas para se evitar a proliferação dos germes.

A circulação do ar aumenta a convecção do ar em repouso, uniformiza a temperatura da câmara e intensifica a evaporação da água do produto, impedindo a elevação da umidade na superfície dos alimentos. Mas deve-se observar os limites da circulação de ar pois essa aumenta a perda de peso, que em carnes só é aceitável quando a armazenagem for de pouca duração.



### 3.3.3. Métodos de congelamento e descongelamento

Uma das maneiras de se realizar o congelamento é por meio de túneis com circulação forçada de ar (3 a 5m/s) entre  $-30$  a  $-50^{\circ}\text{C}$ . Outra maneira é por meio de banhos líquidos, em que a transmissão de calor entre o produto e o líquido é cerca de dez vezes aquela que se verifica para o ar (Costa, 1976).

O método por meio de placas é aquele no qual o produto é prensado entre placas refrigerantes, para diminuir o tempo do congelamento. O congelamento ultra-rápido é feito por meio de nitrogênio líquido.

O descongelamento dos alimentos deve ser lento para permitir a reabsorção da água nos tecidos, e em ambientes com temperaturas de  $5$  a  $8^{\circ}\text{C}$ , com uma umidade relativa de 90 a 95% com circulação de ar para evitar precipitação da umidade na superfície do produto.

Conclui-se que as condições ótimas para conservação dos alimentos variam com o tipo de produto, procedência e o tempo de armazenagem.

### 3.3.4. Ambientes para conservação de alimentos

Os ambientes destinados à conservação de alimentos podem ser subdivididos em três grupos, conforme a estrutura utilizada:

- Isotérmicos: ambientes simplesmente isolados para pequenos períodos de armazenagem, como caixas ou embalagens térmicas, carrinhos de sorvete, etc.;
- Refrigerados: ambientes isolados com geração de frio descontínua, como a fusão de gelo, vaporização de nitrogênio líquido, usados em caminhões refrigerados, barcos pesqueiros, vagões de trem e aviões para transporte de congelados;

- Frigoríficos: ambientes isolados com geração de frio contínua e pode ser classificado como refrigeradores domésticos, comerciais e câmaras frigoríficas.

Os refrigeradores domésticos utilizados em residências para conservação de carne, frutas, legumes, laticínios e congelados com pequeno período de armazenagem. Trabalham com temperaturas de  $-8$  a  $-18^{\circ}\text{C}$  para congelamento e  $2$  a  $7^{\circ}\text{C}$  para resfriamento e possuem capacidade de  $60$  a  $600$  litros (Costa, 1976).

Dentre os refrigeradores comerciais pode-se encontrar uma grande variedade de modelos, capacidade (geralmente maior que os refrigeradores domésticos), com diversas faixas de temperatura apropriadas a sua utilização. Existem modelos verticais, horizontais, balcões frigoríficos com vitrines ou abertos (tipo "*self service*"). Este último possui evaporadores com ventilação forçada e cortinas de ar separando a superfície do balcão e o ambiente para manter constante a temperatura dos produtos.

As câmaras frigoríficas são usadas para a conservação de grandes volumes de produtos alimentícios e são qualificadas conforme a utilização como câmaras para resfriamento, congelamento, para estocagem de produtos definidos ou polivalentes. Devido ao maior período e quantidade de armazenagem, possuem sistemas que garantem um maior controle da temperatura e umidade, proporcionando menores variações destas.

Como em um dos estudos de caso é estudado o isolante térmico de uma câmara frigorífica tem-se a seguir um maior detalhamento relacionado a estas.

### *Construção de câmaras frigoríficas*

As câmaras frigoríficas podem ser construídas de alvenaria comum (com revestimentos isolantes adicionais), de painéis modulares ou outros materiais alternativos, que é caso do Styroblock. Atualmente os painéis modulares, apesar de terem maior custo, são os mais utilizados devido à sua rapidez na montagem, facilidade de limpeza e higienização e também pela possibilidade de ampliação e mudança de local, o que não pode ser feito com as câmaras construídas em alvenaria.

Em câmara frigorífica de alvenaria é construída uma parede comum de tijolos e sobre esta é aplicada uma barreira de vapor, que pode ser asfalto, fio de alumínio ou qualquer outro material que evite o contato da umidade com a alvenaria. Esta barreira tem a responsabilidade de evitar a condensação do vapor que pode deteriorar a alvenaria e o isolante térmico, causando aumento progressivo no custo operacional da câmara.

Sobre a barreira de vapor são fixadas duas camadas de isolante térmico contrafiadas ou apenas uma camada, necessitando-se de fixadores protegidos pelo mesmo material isolante. O isolante térmico determina parte do custo operacional da câmara, devido a parcela de condução no cálculo da carga térmica. Conseqüentemente um mau isolamento, seja pela qualidade do material ou pela sua espessura, representa prejuízo, pois aumenta o consumo de energia e diminui a vida útil do equipamento de refrigeração pelo seu maior tempo de funcionamento. Os principais materiais empregados no isolamento são o poliestireno expandido (EPS) e a espuma de poliuretano.

Tanto a barreira de vapor quanto a camada de isolante térmico devem ser aplicadas nas paredes, tetos e pisos. Após o isolante térmico coloca-se uma camada de reboco para protegê-la.

No piso, quando a temperatura da câmara deve ficar abaixo de 0°C adota-se um porão ventilado para se evitar o congelamento do solo (Costa, 1976).

Os painéis modulares já são fabricados com isolamento térmico e barreira de vapor embutidos.

O método de construção de câmaras frigoríficas com Styroblock está descrita no item 2.5.1.

As portas são também itens de grande importância na construção de câmaras frigoríficas e devem, se possível, ter o mesmo material isolante das paredes. Elas são de madeira, chapas de ferro ou de material plástico e com interior de EPS ou espuma rígida de poliuretano expandido.

O encaixe pode ser por dobradiças ou de correr com acionamento mecânico ou automático. Deve-se garantir a perfeita vedação dos batentes e soleira evitando perdas por infiltração. É normalmente adotado aquecimento evitando congelamento das partes em contato, principalmente em câmaras com temperaturas inferiores a 0°C.

Outras proteções usadas para se evitar grandes infiltrações de ar ambiente através da porta, quando esta abre, são as portas do tipo vai-e-vem de plástico ou cortinas de ar colocadas após a porta principal.

#### *Equipamentos de refrigeração para câmaras frigoríficas*

Os equipamentos de refrigeração para câmaras frigoríficas são constituídos basicamente de um compressor, evaporador, condensador, válvula de expansão e outros dispositivos complementares tais como controles e sensores conforme mostra a Figura 3.5. Estes equipamentos podem ser adquiridos separadamente ou como um monobloco frigorífico (*plug-in*), que é um sistema de refrigeração para câmaras frigoríficas completo adaptável a qualquer método construtivo. A instalação do monobloco frigorífico



assemelha-se a um ar condicionado de janela e é adequado para instalações de pequeno e médio porte.

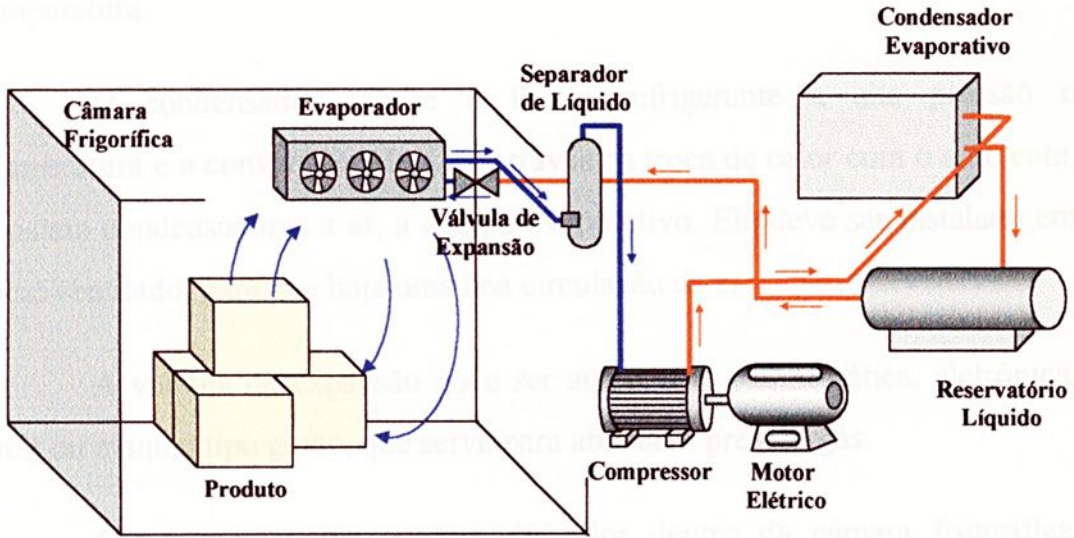


FIGURA 3.5 – Esquema de um sistema de refrigeração de uma câmara frigorífica

Caso opte-se por um sistema convencional, cada equipamento deve ser especificado e dimensionado separadamente.

A Figura 3.6 mostra um esquema de um ciclo de refrigeração por compressão.

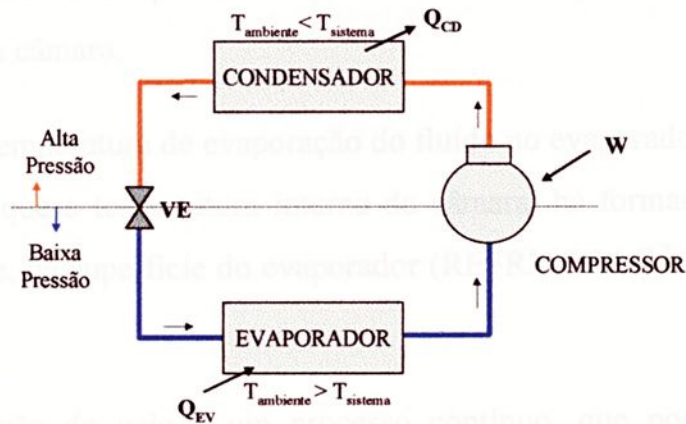


FIGURA 3.6 – Ciclo de refrigeração por compressão

O compressor pode ser aberto, hermético, semi-hermético ou até de parafuso, dependendo da aplicação e tipo de controle desejado. É acionado por

um motor elétrico aspirando o fluido refrigerante no estado gasoso com a finalidade de comprimi-lo, conseqüentemente aumentando sua pressão e temperatura.

O condensador recebe o fluido refrigerante a alta pressão e temperatura e o converte em líquido através da troca de calor com o ambiente. Existem condensadores a ar, a água e evaporativo. Ele deve ser instalado em local ventilado, para que haja uma boa circulação de ar

A válvula de expansão pode ser automática (termostática, eletrônica, etc.) ou manual tipo globo, que serve para abaixar a pressão gás.

O evaporador faz a troca de calor dentro da câmara frigorífica, retirando calor da mesma. Existem vários tipos conforme a aplicação, como evaporadores simples de serpentina e os com ventilação forçada. Seu correto dimensionamento e o projeto da instalação são fundamentais. Ele precisa estar desobstruído para que haja correta circulação de ar dentro da câmara, mantendo todos os produtos na mesma condição de armazenagem e também não deve ser instalado acima da porta, pois o arrasto de ar quente que entra por esta é muito grande. O evaporador é quem define a temperatura e umidade relativa interna da câmara.

Como a temperatura de evaporação do fluido no evaporador é cerca de 5 a 10°C menor que a temperatura interna da câmara, há formação de gelo, devido a umidade, na superfície do evaporador (REFRIGERAÇÃO Industrial, 1998).

A formação do gelo é um processo contínuo, que pode causar o bloqueio do evaporador. Logo é necessário realizar o degelo do evaporador. Isso pode ser feito através de um sistema de *timer* de três formas diferentes:

naturalmente pelo desligamento do compressor, por gás quente invertendo o ciclo frigorífico ou por resistência elétrica.

O projeto da tubulação pode interferir muito no sistema de refrigeração, principalmente em sua vida útil. Como o compressor necessita de lubrificação, uma pequena parte deste óleo entra em contato com o refrigerante e é arrastado pela tubulação de descarga. O uso de sifões em grandes desníveis ou inclinação correta da tubulação evita o acúmulo de óleo em regiões desfavoráveis durante a parada do compressor. Da mesma maneira, a correta seleção do diâmetro faz com que as gotas de óleo possam ser arrastadas junto com o fluido refrigerante, garantindo o retorno do óleo para o compressor na dosagem necessária.

Todo o sistema é controlado através de dispositivos tais como termostatos, pressostatos, válvulas reguladoras de pressão, visor de umidade e sistemas eletro-eletrônicos. Neste campo o avanço de sistemas e sensores eletrônicos vem contribuindo muito para o aumento da confiabilidade da instalação e reduzir custo operacional. A qualidade e o custo dos controles utilizados dependem da sofisticação desejada na automação da instalação (Grote *et al*, 1997).

### *Dimensionamento da câmara frigorífica*

Antes de dimensionar a câmara frigorífica é fundamental se conhecer detalhadamente sua aplicação para que se possa executar um projeto apropriado, com a melhor relação entre custo de instalação, operacional e manutenção.

O tipo de produto a ser armazenado determina a temperatura e umidade interna da câmara e, se for necessário, a concentração de oxigênio e

gás carbônico. A temperatura interna está relacionada com a temperatura de evaporação do fluido no evaporador.

Associando-se o volume armazenado, as dimensões requeridas da câmara e o material isolante encontra-se a carga térmica, já descrito anteriormente.

O tipo de condensador e o fluido de refrigeração selecionados determina a temperatura de condensação do fluido.

De posse da carga térmica, temperatura de evaporação e condensação do fluido pode-se dimensionar a capacidade de todos os componentes do sistema de refrigeração. Esta etapa é muito importante pois um mau dimensionamento do sistema sempre resultará em prejuízos econômicos.

No caso de um superdimensionamento do sistema este atinge facilmente a temperatura desejada, ligando e desligando o equipamento excessivamente diminuindo a vida útil do equipamento e o capital investido é muito maior não justificando a ociosidade do equipamento. No subdimensionamento o sistema não atinge a temperatura ideal para a conservação dos alimentos, colocando em risco a qualidade dos mesmos, o que significa em alimentos inadequados para consumo gerando prejuízos econômicos (Grote *et al*, 1997).

### *Manutenção*

Uma câmara frigorífica exige manutenções tanto no sistema de refrigeração como na câmara propriamente dita. É importante uma inspeção visual periódica, verificando se existem falhas na barreira de vapor ou no isolamento, ajuste das portas, condições de infiltração, ventilação adequada para o compressor e condensador, condições de degelo e limpeza, o nível do óleo, as pressões de alta e baixa e o volume de refrigerante, etc. Alguns



componentes possuem vida útil menor que a da câmara frigorífica e devem ser substituídos regularmente, conforme instruções do fabricante e por pessoa qualificada, como é o caso da troca do óleo.

Outros cuidados como a inspeção da logística de armazenamento devem ser tomados, como a garantia da ventilação dentro da câmara frigorífica através da disposição adequada dos produtos, a redução de frequência de abertura da porta por uma estrutura organizacional adequada e assegurando que a utilização da câmara frigorífica seja de acordo com o projeto (REFRIGERAÇÃO Industrial, 1998).



FIGURA 4.1/a - Corte de uma parede com tijolos maciços, blocos de concreto ou blocos cerâmicos.



FIGURA 4.1/b - Analogia elétrica da parede de isolamento.

Dados:

$K_1 = K_2 = 197,76 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$	$e_1 = e_2 = 0,0061 \text{ m}$
$K_3 = K_4 = 0,045 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$	$e_3 = e_4 = 0,022 \text{ m}$
$K_5 = K_6 = 0,989 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$	$e_5 = e_6 = 0,030 \text{ m}$
$K_7 = 0,774 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$	$e_7 = 0,10 \text{ m}$
$K_8 = 0,602 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$	$e_8 = 0,12 \text{ m}$
$K_9 = 0,170 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$	$e_9 = 0,12 \text{ m}$

Obs.:  $K_1$  e  $e_1$  são para tijolos maciços,  $K_3$  e  $e_3$  são para blocos cerâmicos e  $K_5$  e  $e_5$  são para blocos de concreto. Dados conforme Holman (1983), Cieder (1990), Azeredo (1977), Lambertini *et al* (1997) e Gnilo *et al* (1997).

## **CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO 1: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MATERIAIS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO DE UMA CÂMARA FRIGORÍFICA**

Neste capítulo é realizado um estudo de caso aplicando blocos de EPS na construção de uma câmara frigorífica. Efetua-se uma comparação técnica e econômica entre esse material proposto e alvenaria comum, verificando a conservação de energia e a relação custo/benefício, relacionada ao equipamento de refrigeração utilizado para cada caso.

Para a análise da potência frigorífica ou carga térmica adotou-se uma câmara frigorífica com as seguintes dimensões: largura de 2m, comprimento de 3m e altura de 2m. Admitiu-se não existir acréscimo de carga térmica por insolação, pois a câmara não está exposta ao sol. O produto utilizado é carne bovina, em quantidade associada com a produção de um pequeno matadouro. Adotou-se como temperatura interna - 1°C e externa variando de 10 a 30°C, procurando uma situação crítica para o projeto.

Calculou-se a carga térmica, com a qual foram dimensionados os equipamentos de refrigeração a serem instalados, a partir das seguintes informações definidas para o projeto: produto a ser estocado, dimensões (altura, largura e comprimento), localização da câmara (local com insolação ou à sombra) e tipo de material utilizado na construção.

### **4.1. CÁLCULO DA POTÊNCIA FRIGORÍFICA DOS DOIS SISTEMAS**

O cálculo da potência frigorífica é equivalente à carga térmica a ser retirada da câmara e é a somatória de todos os itens que influenciam na quantidade de calor que o maquinário de refrigeração vai ter que retirar para que a câmara frigorífica se mantenha à temperatura desejada. São eles: calor de condução (entre os ambientes externo e interno através da parede de fechamento), calor de infiltração, calor do produto, calor devido à iluminação,



calor das pessoas que trabalham na câmara, etc. Esse desenvolvimento foi realizado conforme o artigo CÁLCULO de carga térmica para câmaras frigoríficas (1996) e Costa (1976); os dados para os cálculos seguem as indicações de Creder (1990) e Neves Filho (1991).

#### 4.1.1. Cálculo do calor de condução

Como o objetivo é a comparação entre uma câmara de alvenaria e uma utilizando o Styroblock, tem-se que os parâmetros construtivos para os cálculos de calor de condução (penetração), apresentados na Figura 4.1 para alvenaria de tijolos maciços, blocos de concreto ou cerâmicos:

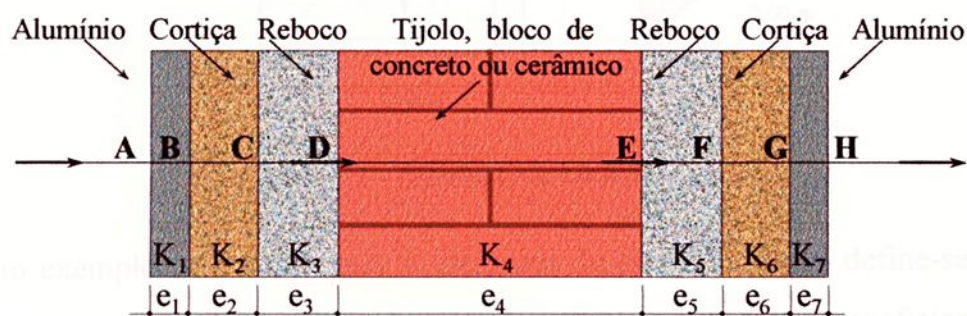


FIGURA 4.1/a - Corte da alvenaria com tijolos maciços, blocos de concreto ou blocos cerâmicos

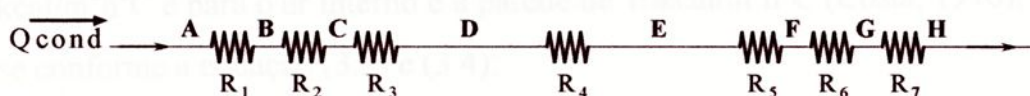


FIGURA 4.1/b - Analogia elétrica da parede de alvenaria

Sendo:

$K_1 = K_7 = 197,76 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$	$e_1 = e_7 = 0,00061 \text{ m}$
$K_2 = K_6 = 0,045 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$	$e_2 = e_6 = 0,022 \text{ m}$
$K_3 = K_5 = 0,989 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$	$e_3 = e_5 = 0,030 \text{ m}$
$K_4 = 0,774 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$	$e_4 = 0,10 \text{ m}$
$K_{4'} = 0,602 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$	$e_{4'} = 0,12 \text{ m}$
$K_{4''} = 0,170 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C}$	$e_{4''} = 0,12 \text{ m}$

Obs.:  $K_4$  e  $e_4$  são para tijolos maciços,  $K_{4'}$  e  $e_{4'}$  são para blocos cerâmicos e  $K_{4''}$  e  $e_{4''}$  são para blocos de concreto. Dados conforme Holman (1983), Creder (1990), Azeredo (1977), Lamberts *et al* (1997) e Grote *et al* (1997).

Considerando uma câmara com dimensões de 2m de largura, 3m de comprimento e 2m de altura (conforme a Figura 4.2), a área de parede é dada por:

$$A = [2 \times (2 + 3)] \times 2 = 20,00 \text{ m}^2$$

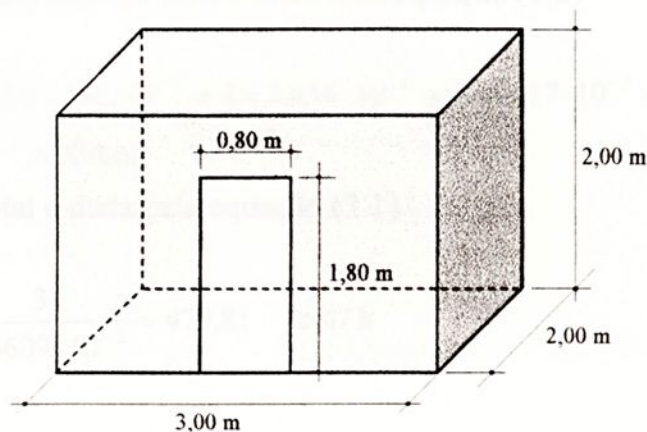


FIGURA 4.2 – Dimensão da câmara frigorífica

Como exemplo de cálculo para a alvenaria de tijolos maciços define-se uma temperatura externa de 30°C e interna de -1°C e os valores de coeficiente de transferência de calor (h) são para o ar externo entre a parede de 25 kcal/m<sup>2</sup>h°C e para o ar interno e a parede de 10kcal/m<sup>2</sup>h°C (Costa, 1976), tem-se conforme a equação (3.3) e (3.4):

$$R_1 = R_7 = \frac{e_1}{K_1 \times A} = \frac{0,00061}{197,76 \times 20} = 1,542 \cdot 10^{-7} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$R_2 = R_6 = \frac{e_2}{K_2 \times A} = \frac{0,022}{0,045 \times 20} = 2,444 \cdot 10^{-2} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$R_3 = R_5 = \frac{e_3}{K_3 \times A} = \frac{0,03}{0,989 \times 20} = 1,517 \cdot 10^{-3} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$R_4 = \frac{e_4}{K_4 \times A} = \frac{0,10}{0,774 \times 20} = 6,46 \cdot 10^{-3} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$Re_{\text{conv}} = \frac{1}{h_e \times A} = \frac{1}{25 \times 20} = 2,00 \cdot 10^{-3} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$Ri_{\text{conv}} = \frac{1}{h_i \times A} = \frac{1}{10 \times 20} = 5,00 \cdot 10^{-3} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

A resistência térmica total é dada pela equação (3.2)

$$R_{\text{eq}} = 2,00 \cdot 10^{-3} + 2 \times 1,542 \cdot 10^{-7} + 2 \times 2,444 \cdot 10^{-2} + 2 \times 1,517 \cdot 10^{-3} + 6,46 \cdot 10^{-3} + 5,00 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{\text{eq}} = 6,4609 \cdot 10^{-2} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

A carga térmica total é dada pela equação (3.1)

$$Q_{\text{cond } A} = \frac{\Delta T}{R_{\text{eq}}} = \frac{31}{6,4609 \cdot 10^{-2}} = 479,81 \text{ kcal/h}$$

Esse valor só está considerando o calor de condução pelas paredes, será considerado também as parcelas de condução do piso e do teto, os quais estão representados construtivamente nas Figuras 4.3 e 4.4.

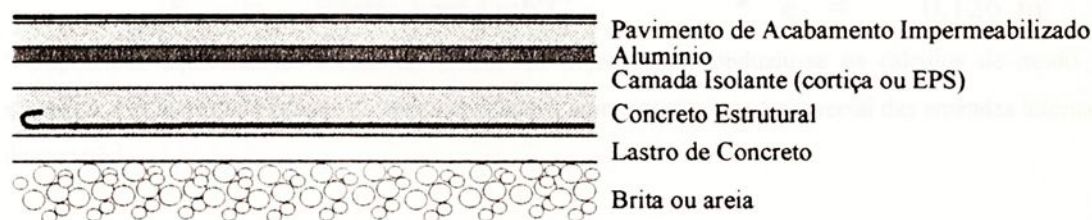


FIGURA 4.3 – Corte do piso da câmara frigorífica considerando alvenaria com tijolos maciços, blocos de concreto ou blocos cerâmicos

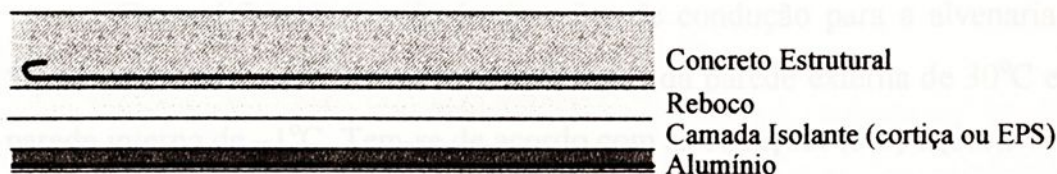


FIGURA 4.4 – Corte do teto da câmara frigorífica considerando alvenaria com tijolos maciços, blocos de concreto ou blocos cerâmicos

No caso do Styrobloc os parâmetros construtivos para os cálculos de calor de condução (penetração) são apresentados na Figura 4.5.

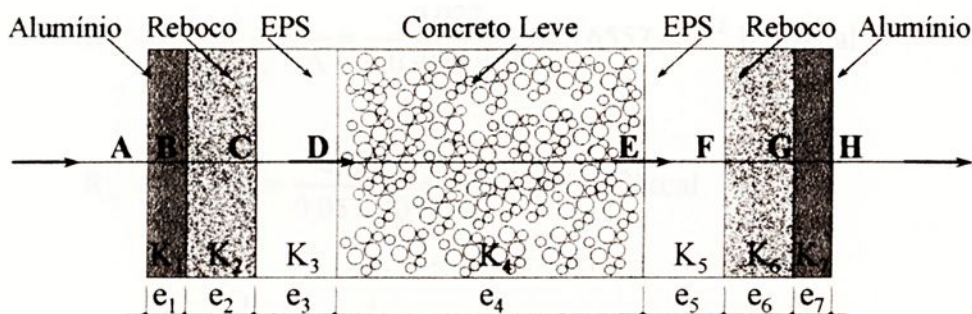


FIGURA 4.5/a - Corte da parede de Styrobloc

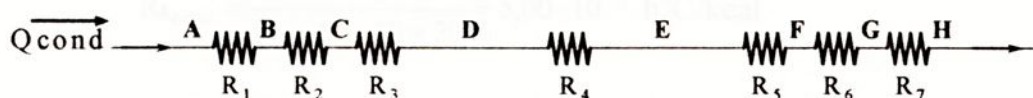


FIGURA 4.5/b - Analogia elétrica da parede de Styrobloc

$$\begin{array}{ll}
 K_1 = K_7 = 197,76 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C} & e_1 = e_7 = 0,00061 \text{ m} \\
 K_2 = K_6 = 0,989 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C} & e_2 = e_6 = 0,030 \text{ m} \\
 K_3 = K_5 = 0,03009 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C} & * e_3 = e_5 = 0,022 \text{ m} \\
 K_4 = 0,050 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C} & * e_4 = 0,126 \text{ m}
 \end{array}$$

\* Espessuras equivalentes: devido as formas do Styrobloc, conduziu-se os cálculos de modo a aumentar a espessura da parede do bloco de forma a compensar a área transversal das emendas internas do material.

Para calcular o calor de condução do Styrobloc também se usou o método de analogia elétrica conforme Holman (1983), para o qual uso-se a equação (3.1).

Exemplificando o cálculo do calor de condução para a alvenaria de Styrobloc, também define-se as temperaturas da parede externa de  $30^\circ\text{C}$  e da parede interna de  $-1^\circ\text{C}$ . Tem-se de acordo com as equações (3.3) e (3.4):

$$R_1 = R_7 = \frac{e_1}{K_1 \times A} = \frac{0,00061}{197,76 \times 20} = 1,5423 \cdot 10^{-7} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$R_2 = R_6 = \frac{e_2}{K_2 \times A} = \frac{0,03}{0,989 \times 20} = 1,5167 \cdot 10^{-3} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$R_3 = R_5 = \frac{e_3}{K_3 \times A} = \frac{0,022}{0,03009 \times 20} = 3,6557 \cdot 10^{-2} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$R_4 = \frac{e_4}{K_4 \times A} = \frac{0,126}{0,05 \times 20} = 1,26 \cdot 10^{-1} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$R_{e\text{conv}} = \frac{1}{h_e \times A} = \frac{1}{25 \times 20} = 2,00 \cdot 10^{-3} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$R_{i\text{conv}} = \frac{1}{h_i \times A} = \frac{1}{10 \times 20} = 5,00 \cdot 10^{-3} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

A resistência térmica total é dada pela equação (3.2)

$$R_{\text{eq}} = 2,00 \cdot 10^{-3} + 2 \times 1,5423 \cdot 10^{-7} + 2 \times 1,5167 \cdot 10^{-3} + 2 \times 3,6557 \cdot 10^{-2} + 1,26 \cdot 10^{-1} + 5,00 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{\text{eq}} = 2,0915 \cdot 10^{-1} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

A carga térmica total é dada pela equação (3.1)

$$Q_{\text{cond. sty}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{eq}}} = \frac{31}{0,20915} = 148,22 \text{ kcal/h}$$

Assim como para os cálculos de condução com a alvenaria de tijolos, deve-se considerar a condução em relação ao piso e teto como estão representados nas Figuras 4.3 e 4.4, mostradas anteriormente, para o método construtivo com o Styrobloc.

Os outros itens de cálculo de calor, isto é, infiltração, produto, iluminação e pessoas, os valores são similares para todas as configurações de alvenaria, conforme Costa (1976).

#### 4.1.2. Cálculo do calor de infiltração

O calor de infiltração é a parcela térmica correspondente ao calor do ar de ventilação que atinge a câmara frigorífica através de suas aberturas e é calculado conforme a equação (3.14).

$$Q_{\text{inf ilt}} = 22 \times 26,42 = 581,24 \text{ kcal/dia}$$

$$Q_{\text{inf ilt}} = \frac{581,24}{24} = 24,22 \text{ kcal/h}$$

#### 4.1.3. Cálculo do calor do produto

A parcela de carga térmica devido ao produto pode ser calculada conforme a equação (3.15).

$$Q_{\text{prod}} = \frac{100 \times \{0,79 \times [30 - (-3)] + 59 + 0,42 \times [(-3) - (-1)]\}}{24\text{horas}}$$

$$Q_{\text{prod}} = 350,958 \text{ kcal/h}$$

#### 4.1.4. Cálculo do calor de iluminação

A dissipação provocada pela iluminação é dada pela equação (3.16).

$$Q_{\text{ilum}} = \frac{0,86 \times 20 \times 20}{24\text{horas}} = 14,33 \text{ kcal/h}$$

#### 4.1.5. Cálculo do calor de pessoas

O calor devido as pessoas é dado pela equação (3.17).

$$Q_{\text{pessoas}} = \frac{1 \times 260 \times 20}{24\text{horas}} = 216,67 \text{ kcal/h}$$

#### 4.1.6. Cálculo do calor a ser retirado

Os resultados dos cálculos da carga térmica (calor a ser retirado da câmara frigorífica) são apresentados na Tabela 4.1 a seguir:

TABELA 4.1- Calor a ser retirado da câmara frigorífica - Carga Térmica

<b>Potência Frigorífica [kcal / h]</b>		<b>Tijolo Maciço</b>	<b>Tijolo Cerâmico</b>	<b>Bloco de Concreto</b>	<b>Styroblock</b>
Q condução	parede	474,13	449,997	329,03	148,22
	piso	305,66	305,66	305,66	104,44
	teto	328,77	328,77	328,77	107,01
Q infiltração		24,22	24,22	24,22	24,22
Q produto		350,96	350,96	350,96	350,96
Q iluminação		14,33	14,33	14,33	14,33
Q pessoas		216,67	216,67	216,67	216,67
<b>Total [kcal / h]</b>		<b>1714,75</b>	<b>1690,62</b>	<b>1569,65</b>	<b>965,85</b>
<b>Total [kW]</b>		<b>1,994</b>	<b>1,966</b>	<b>1,825</b>	<b>1,123</b>

A diferença percentual da carga térmica entre os dois casos extremos é de 43,67 % menor do método construtivo com o Styroblock em relação ao com tijolos maciços, resultando numa conservação de eletricidade consumida pelo sistema de refrigeração com praticamente o mesmo percentual de redução, o que, como será mostrado no próximo item, implicará numa redução nos gastos com energia.

A Figura 4.6 mostra graficamente os valores de potência frigorífica (em kW) para câmaras frigoríficas feitas com os materiais de tijolos maciços, bloco de concreto, tijolo cerâmico e Styroblock, em função da variação da temperatura externa de 5 a 35°C.

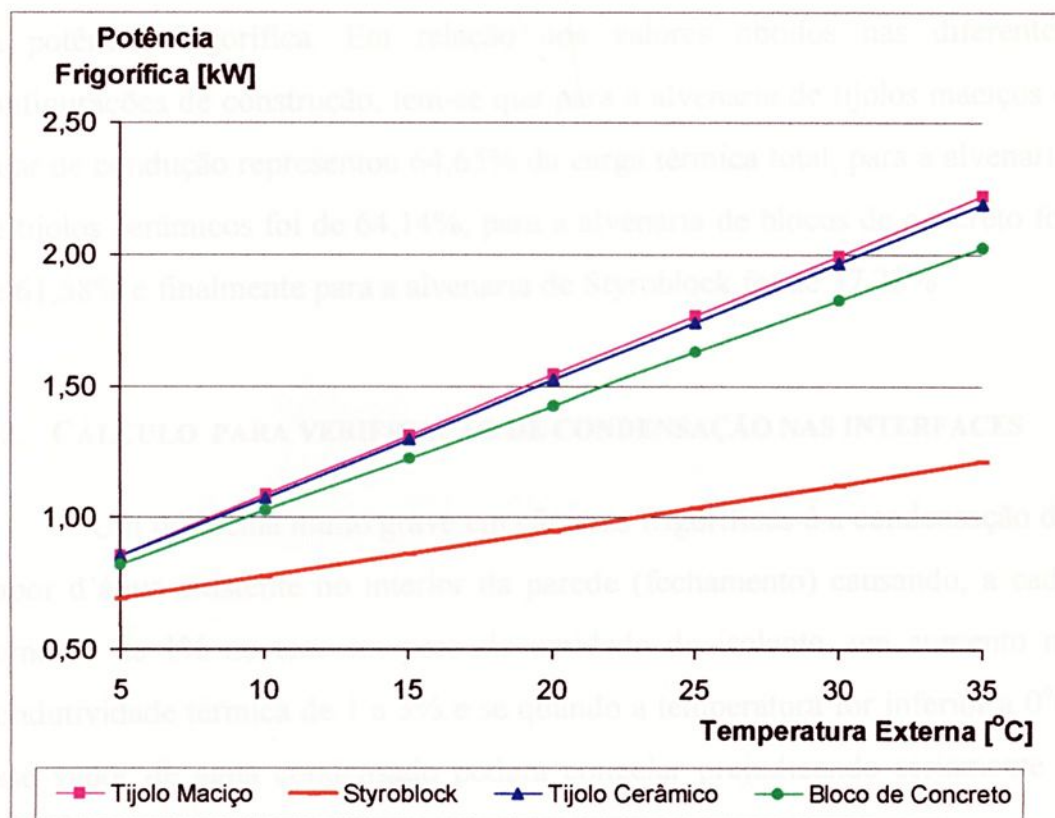


FIGURA 4.6 – Gráfico da potência frigorífica em relação a variação da temperatura externa

Verifica-se que uma câmara frigorífica construída com Styroblock tem a potência frigorífica do maquinário de refrigeração menor em relação aos outros materiais para qualquer temperatura externa (entre 5 a 35°C). A diferença entre as potências frigoríficas nas câmaras construídas com os materiais especificados acima variam conforme a temperatura externa, isto é, a uma temperatura externa de 5 °C a diferença percentual entre o Styroblock e o tijolo maciço é de 19,63% e a uma temperatura mais crítica, isto é, de 35 °C a diferença é de 45,53%

A influência do isolante térmico nos cálculos da potência frigorífica varia conforme o diferencial de temperatura e também devido ao seu poder de isolamento, isto é, quanto melhor isolante o material for, menor vai ser a contribuição do calor de condução na carga térmica, diminuindo o valor total

da potência frigorífica. Em relação aos valores obtidos nas diferentes configurações de construção, tem-se que para a alvenaria de tijolos maciços o calor de condução representou 64,65% da carga térmica total, para a alvenaria de tijolos cerâmicos foi de 64,14%, para a alvenaria de blocos de concreto foi de 61,58% e finalmente para a alvenaria de Styrobloc foi de 37,23%.

#### 4.2. CÁLCULO PARA VERIFICAÇÃO DE CONDENSAÇÃO NAS INTERFACES

Um problema muito grave em câmaras frigoríficas é a condensação do vapor d'água existente no interior da parede (fechamento) causando, a cada aumento de 1% no teor em peso de umidade do isolante, um aumento na condutividade térmica de 1 a 3% e se quando a temperatura for inferior a 0°C esse vapor de água condensado poderá congelar prejudicando seriamente o isolante (Costa, 1976).

A penetração de umidade nos materiais se deve a dois fatores que são o da permeabilidade do material ao vapor d'água e a ação higroscópica do mesmo. A seguir são apresentados os resultados dos cálculos das temperaturas e pressões de saturação e de vapor dos dois métodos construtivos: alvenaria de tijolos maciços e a alvenaria de Styrobloc. Os outros métodos tiveram como resultados valores intermediários aos apresentados nas figuras 4.7 e 4.8.

FIGURA 4.7 - Perfil de temperatura e pressão na alvenaria de Styrobloc

Como pode-se verificar que mesmo não havendo condensação superficial, pois no lado quente (externo) a pressão de saturação é maior que a pressão de vapor, haverá condensação interna na zona hachurada. No caso da alvenaria de tijolos maciços a zona de condensação não chega a temperatura inferior a 0°C, mas no Styrobloc, na parte do EPS no bloco a zona de condensação tem uma temperatura inferior a 0°C, onde ocorrerá o congelamento do condensado podendo causar sérios danos para o isolante.

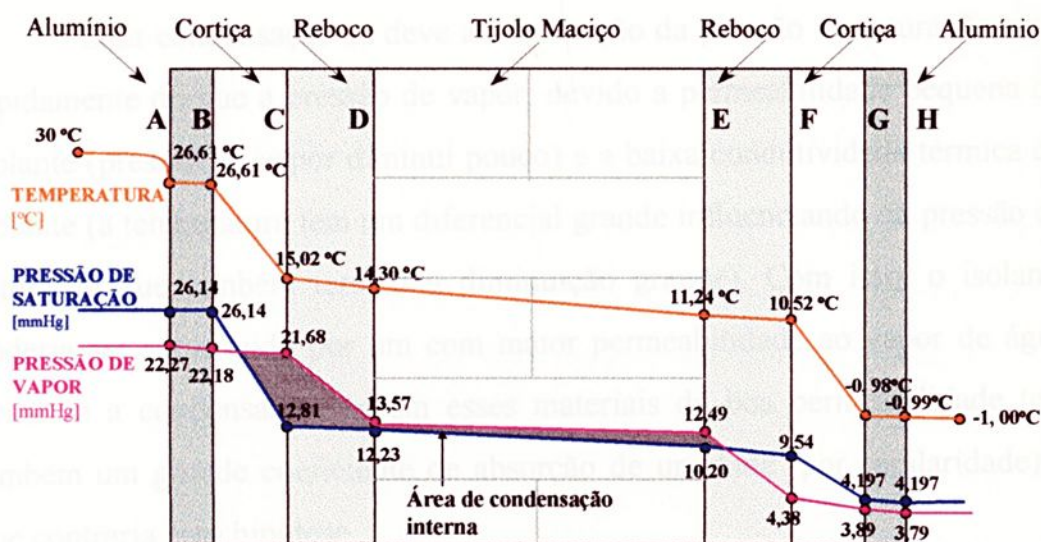


Figura 4.7 – Perfil de temperatura e pressões na alvenaria de tijolos maciços

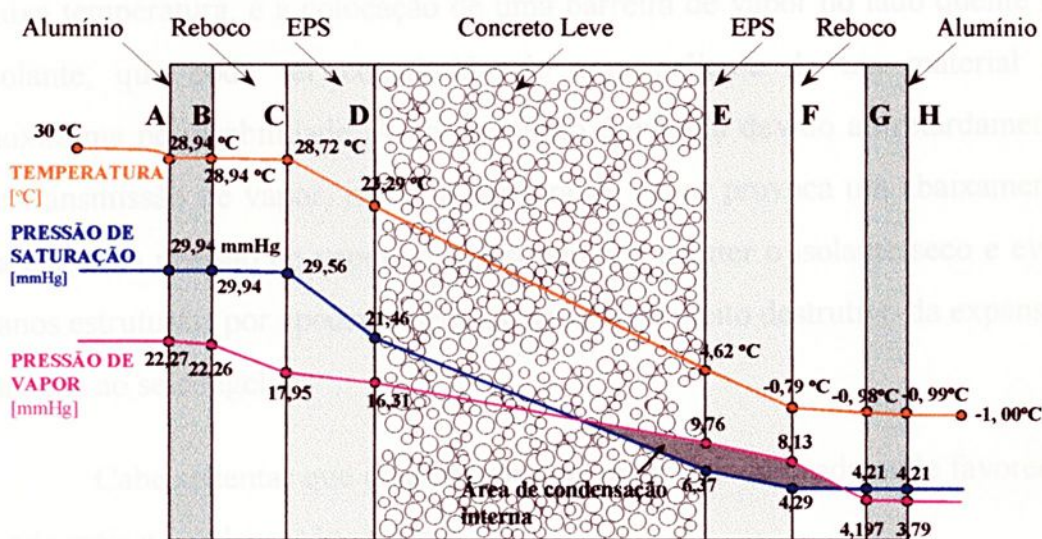


FIGURA 4.8 – Perfil de temperatura e pressões na alvenaria de Styrobloc

Como pode-se verificar que, mesmo não havendo condensação superficial, pois no lado quente (externo) a pressão de saturação é maior que a pressão de vapor, haverá condensação interna na zona hachurada. No caso da alvenaria de tijolos maciços a zona de condensação não atinge a temperatura inferior a 0°C, mas no Styrobloc, na parte do EPS do bloco a zona de condensação tem uma temperatura inferior a 0°C, onde ocorrerá o congelamento do condensado podendo causar sérios danos para o isolante.

Essa condensação se deve a diminuição da pressão de saturação mais rapidamente do que a pressão de vapor, devido a permeabilidade pequena do isolante (pressão de vapor diminui pouco) e a baixa condutividade térmica do isolante (a temperatura tem um diferencial grande influenciando na pressão de saturação que também terá uma diminuição grande). Com isso, o isolante poderia ser substituído por um com maior permeabilidade ao vapor de água evitando a condensação, porém esses materiais de boa permeabilidade tem também um grande coeficiente de absorção de umidade (por capilaridade) o que contraria essa hipótese.

Uma solução para se evitar a condensação, sobretudo nas zonas de baixa temperatura, é a colocação de uma barreira de vapor no lado quente do isolante, que pode ser constituída de uma película de um material de baixíssima permeabilidade. A condensação é evitada devido ao retardamento da transmissão de vapor, isto é, a barreira de vapor provoca um abaixamento na curva da pressão de vapor, com isso ajuda a manter o isolante seco e evita danos estruturais por apodrecimento, corrosão ou efeito destrutivo da expansão da água ao se congelar.

Cabe salientar que uma barreira de vapor mal colocada pode favorecer ainda mais a condensação interna.

Alguns materiais utilizados são a folha de alumínio ou filmes plásticos além de camadas de asfalto frio aplicados a superfície onde se quer evitar a passagem de vapor (Neves Filho, 1991)

### 4.3. ORÇAMENTO DOS SISTEMAS PROPOSTOS

#### 4.3.1. Custo da construção

Para compor os custos da construção das câmaras frigoríficas especificadas, foram considerados os materiais utilizados e suas quantidades, a mão de obra e os equipamentos empregados. No sistema construtivo de alvenaria convencional estudou-se: tijolos maciços (5 x 10 x 20cm), bloco cerâmico (10 x 20 x 20 cm), bloco de concreto (9 x 19 x 39cm), bloco de concreto (14 x 19 x 39cm), com os seguintes revestimentos: chapisco, emboço e reboco. A estrutura: laje maciça, vigas pilares e fundação compatível ao carregamentos, com concreto armado de fck 20MPa (resistência característica do concreto).

No sistema alternativo usou-se o Styroblock com enchimento de concreto leve, laje pré-fabricada com blocos de EPS, fundação compatível com o carregamento e o revestimento somente com aditivos sem o uso de telas. Para os sistemas de alvenarias de tijolos maciços, tijolos cerâmicos e blocos de concreto foram usados cortiça e alumínio como isolantes.

Os materiais e seus insumos foram extraídos do TPCO (Tabela de Composições de Preços para Orçamentos - 1986) que estima todos os materiais usados e suas quantidades para que seja feita a previsão de custos. Os custos (preços dos materiais utilizados) foram extraídos das revistas Boletim de Custos (1999) e Construção (1999). Os preços apresentados consideram B.D.I. (Benefícios e Despesas Indiretas) = 0,00% e M.O. (mão de obra) com encargos sociais = 123,0%.

A composição de custos para o método construtivo usando alvenaria comum é apresentado na Tabela 4.2.



TABELA 4.2 - Composição de custos para o método usando alvenaria comum

DESCRIÇÃO		CUSTO EM US\$		
		Tijolos maciços	Bloco de concreto	Tijolo furado
<b>Composição total</b>				
<b>Estrutura:</b>		449,92	449,92	449,92
<b>Fechamento:</b>	Alvenaria	399,88	205,20	169,32
	Revestimento	469,72	469,72	469,72
	Cortiça	1271,61	1271,61	1271,61
	Alumínio	804,00	804,00	804,00
<b>Piso:</b>	Contrapiso	36,11	36,11	36,11
	Concreto est.	59,80	59,80	59,80
	Impermeab.	67,52	67,52	67,52
	Cortiça	167,61	167,61	167,61
	Alumínio	105,99	105,99	105,99
<b>Teto:</b>	Reboco	5,05	5,05	5,05
	Impermeab.	50,79	50,79	50,79
	Cortiça	167,61	167,61	167,61
	Alumínio	105,99	105,99	105,99
<b>Total US\$</b>		<b>4161,61</b>	<b>3966,92</b>	<b>3931,05</b>

A composição dos insumos para o método construtivo usando o Styrobloc, baseados nos dados informados pela Basf (1994) e os custos dos materiais utilizados foram extraídos das revistas Boletim de Custos (1999) e Construção (1999), é apresentado na Tabela 4.3.

TABELA 4.3 - Composição de custos para o método usando Styroblock

DESCRIÇÃO		CUSTO EM US\$
<b>Composição total</b>		
<b>Estrutura:</b>		288,06
<b>Fechamento:</b>	Alvenaria	464,53
	Revestimento	691,70
	Alumínio	804,00
<b>Piso:</b>	Contrapiso	36,11
	Concreto est.	59,80
	Impermeab.	67,52
	Placa de EPS	50,42
	Alumínio	105,99
<b>Teto:</b>	Reboco	5,05
	Impermeab.	50,79
	Placa de EPS	50,42
	Alumínio	105,99
<b>Total US\$</b>		<b>2777,77</b>

Os resultados dos custos indicam que o método construtivo com Styroblock tem um custo menor, aproximadamente 33,25%, em relação a câmara frigorífica construída com tijolos maciços. Esse valor calculado com referência no período de janeiro a março de 1999 mostrou que, em relação a valores anteriores calculados pela Basf (1994), o método construtivo usando o Styroblock vem diminuindo os custos com o tempo e a tendência é que fique cada vez mais viável economicamente a utilização dessa tecnologia na construção civil. Os valores referenciados de 1994 são esses: US\$ 4.262,87 para o tijolo maciço e para o Styroblock US\$ 4.691,77, com uma diferença percentual de 10,06% mais alto para o método usando Styroblock em relação ao método usando alvenaria de tijolos maciços.

### 4.3.2. Custo do Equipamento de Refrigeração

A partir desse ponto considera-se somente a alvenaria de tijolos maciços e o Styrobloc, pois os valores dos dois outros métodos são intermediários aos apresentados a seguir.

Na escolha do maquinário para refrigeração usou-se o calor a ser retirado, calculado para cada tipo de câmara frigorífica, onde obtiveram-se os valores dos custos apresentados na Tabela 4.4. O equipamento foi dimensionado para um sistema de compressão de vapor e definido juntamente com fabricantes de equipamentos de refrigeração, com um custo médio adotado de 2579,53 US\$/kW ou 3 US\$/kcal/h, conforme Silveira *et al* (1998).

TABELA 4.4 – Custo do maquinário de refrigeração em relação a potência frigorífica

	TIJOLOS M.	STYROBLOCK
Potência Frigorífica Necessária (kcal/h)	1714,75	965,85
(kW)	1,99	1,12
Maquinário de refrigeração (US\$)	5144,24	2897,55

#### 4.4. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Os cálculos dos custos de armazenamento das câmaras foram desenvolvidos com base no estudo de viabilidade econômica realizado por Silveira (1994), apresentando a seguinte formulação para esse caso estudado:

$$C_{\text{Armazenamento}} = \frac{(I_{\text{civil}} + I_{\text{maq}}) \times f}{H \times V_{\text{Armaz}}} + \frac{P_{\text{el}} \times E_{\text{C}}}{V_{\text{Armaz}}} \quad [\text{US\$/h m}^3] \quad (4.1)$$

O valor da tarifa de eletricidade pode variar conforme o contrato realizado com a concessionária de energia elétrica ou a quantidade consumida mensalmente, mas como esse estudo considera uma câmara de pequeno porte o valor considerado é conforme Silveira *et al* (1998). Os valores das outras parcelas são especificados de acordo com os cálculos anteriores. São eles:

Pel .....	0,07 a 0,12 [US\$/kW h]
H = 16 [h/dia] x 365 [dia/ano] .....	5840 [ h/ano]
P <sub>f</sub> Alvenaria = 1714,75 [ kcal/h] .....	1,99 [kW]
P <sub>f</sub> Styrobloc = 965,85 [ kcal/h] .....	1,12 [kW]
I <sub>civil</sub> A = 4161,61 US\$	I <sub>maq</sub> A = 5144,24 US\$
I <sub>civil</sub> Sty = 2777,77 US\$	I <sub>maq</sub> Sty = 2897,55 US\$

Sendo o coeficiente de performance:

$$\text{Cop} = \frac{P_f \text{ [kW]}}{E_c \text{ [kW]}} = 3,00 \quad (4.2)$$

tem-se, portanto:

$$E_{\text{c Alvenaria}} = 1,99/3,0 \dots\dots\dots 0,663 \text{ [kW]}$$

$$E_{\text{c Styrobloc}} = 1,12/3,0 \dots\dots\dots 0,373 \text{ [kW]}$$

O volume útil para o armazenamento é considerado 80% do volume da câmara:

$$V_{\text{Armaz.}} = V_{\text{Útil}} = 80 \% V_{\text{Câmara}} \dots\dots\dots 9,60 \text{ m}^3$$

O fator de anuidade (f) é calculado através da seguinte fórmula (Silveira, 1994):

$$f = \frac{q^k \times (q - 1)}{q^k - 1} \quad (4.3)$$

sendo:

$$q = 1 + \left( \frac{r}{100} \right) \quad (4.4)$$

Os valores da taxa anual de juros (r) variam de 6 a 18% e o valor do período de amortização do capital investido (k) varia de seis meses a cinco anos.

Assim, tem-se as equações dos custos de armazenagem para as câmaras de tijolos maciços e Styrobloc em [US\$/h m<sup>3</sup>]:

$$C_{\text{ArmazT}} = \frac{(4161,61 + 5144,24) \times f}{7300 \times 9,60} + \frac{0,090 \times 0,663}{9,60} \text{ [US$/h m}^3 \text{ ]}$$

$$C_{\text{ArmazSTY}} = \frac{(2777,77 + 2897,55) \times f}{7300 \times 9,60} + \frac{0,090 \times 0,373}{9,60} \text{ [US$/h m}^3 \text{ ]}$$

A Figura 4.9 mostra o gráfico que analisa comparativamente os dois sistemas construtivos (tijolos maciços e Styrobloc) em um período de amortização do capital investido em obras civis e sistema de refrigeração de seis meses a cinco anos e uma taxa anual de juros de 6%.

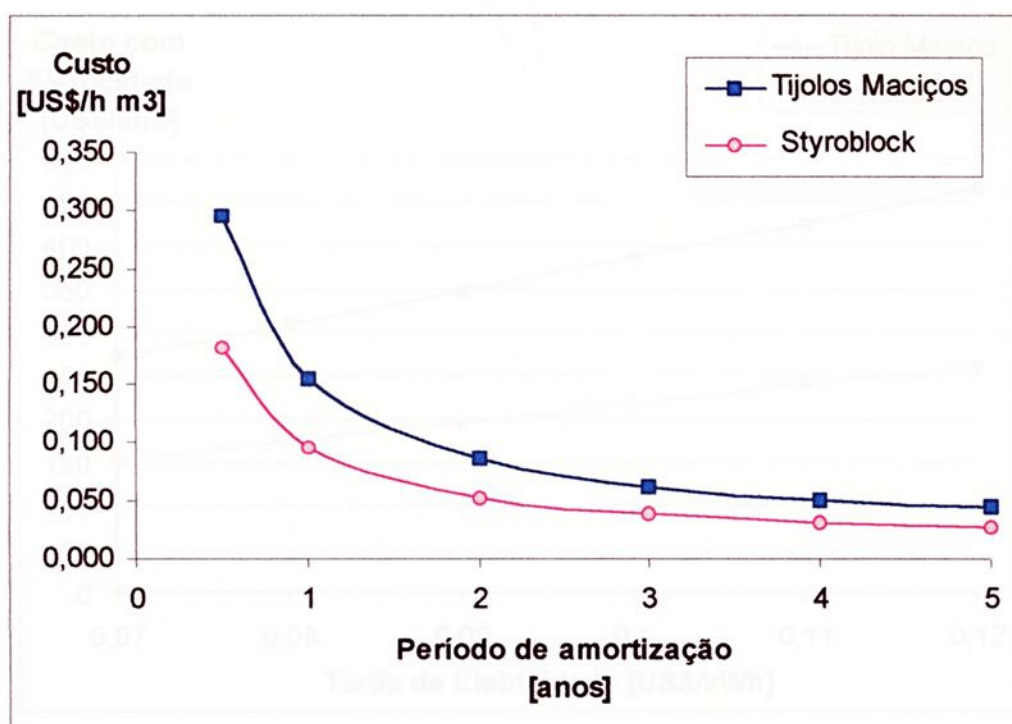


FIGURA 4.9 - Análise comparativa em termos de custo de armazenamento

Verifica-se que custo de armazenamento na câmara utilizando Styrobloc é menor que o apresentado para a alvenaria de tijolos maciços, sendo que para o primeiro, o custo de armazenamento é de  $0,089 \text{ US\$/hm}^3$  e para o tijolo maciço o custo é de  $0,15 \text{ US\$/hm}^3$ . A diferença entre esses custos é de aproximadamente 40% a menos para o método usando o Styrobloc.

Conforme passa o tempo o custo de armazenamento vai diminuindo até a estabilização, quando o investimento é amortizado para os dois casos.

Os gastos anuais com eletricidade em relação ao consumo do sistema de refrigeração está apresentado na figura 4.10, considerando a tarifa de eletricidade variando de 0,07 a 0,12 US\$/kWh, com um período de funcionamento de 16 horas diárias.

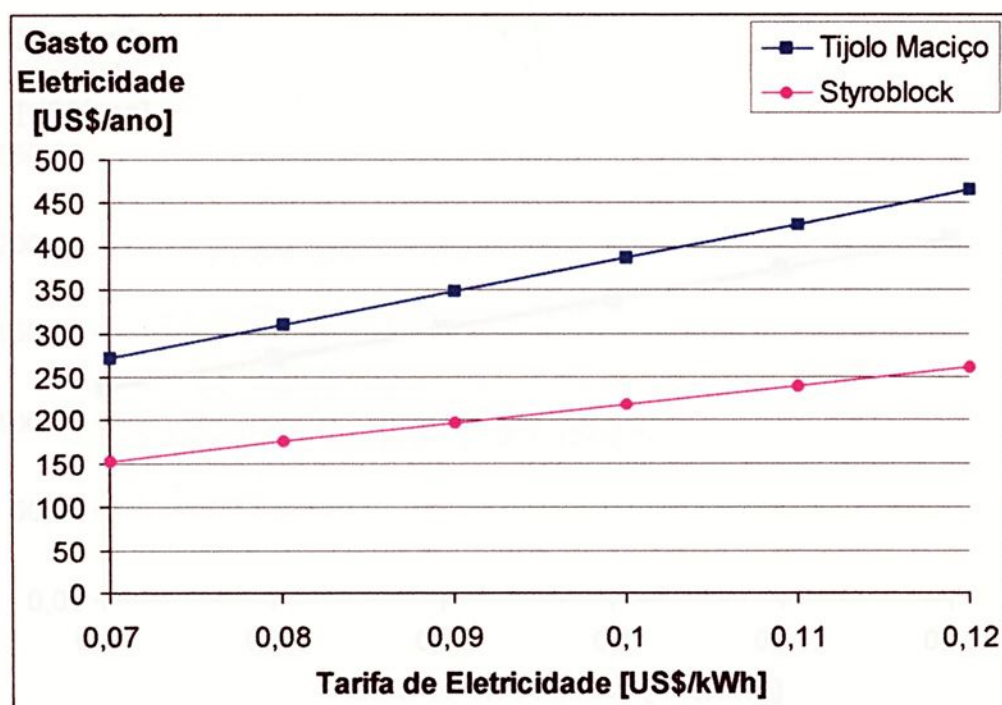


FIGURA 4.10 - Análise dos gastos com eletricidade em função da tarifa de eletricidade

Verifica-se que os gastos com eletricidade, relacionados ao consumo elétrico do sistema de refrigeração para que este retire da câmara a quantidade de calor suficiente mantendo a temperatura desejada, são de aproximadamente de 350 US\$/ano para a câmara de tijolos maciços e de 195 US\$/ano para o Styrobloc, uma diferença de 43 % a menos para o Styrobloc, para uma tarifa de 0,09 US\$/kWh. Esse resultado caracteriza, mais uma vez a vantagem econômica da câmara construída com Styrobloc sobre a câmara de tijolos maciços.

Quando se variam outros parâmetros, como tempo de funcionamento ou taxa anual de juros, os valores encontrados são similares aos apresentados acima, isto é, também mostram que uma câmara construída com Styrobloc é economicamente viável.

A economia anual esperada em função da variação da tarifa de eletricidade é apresentada na figura 4.11.

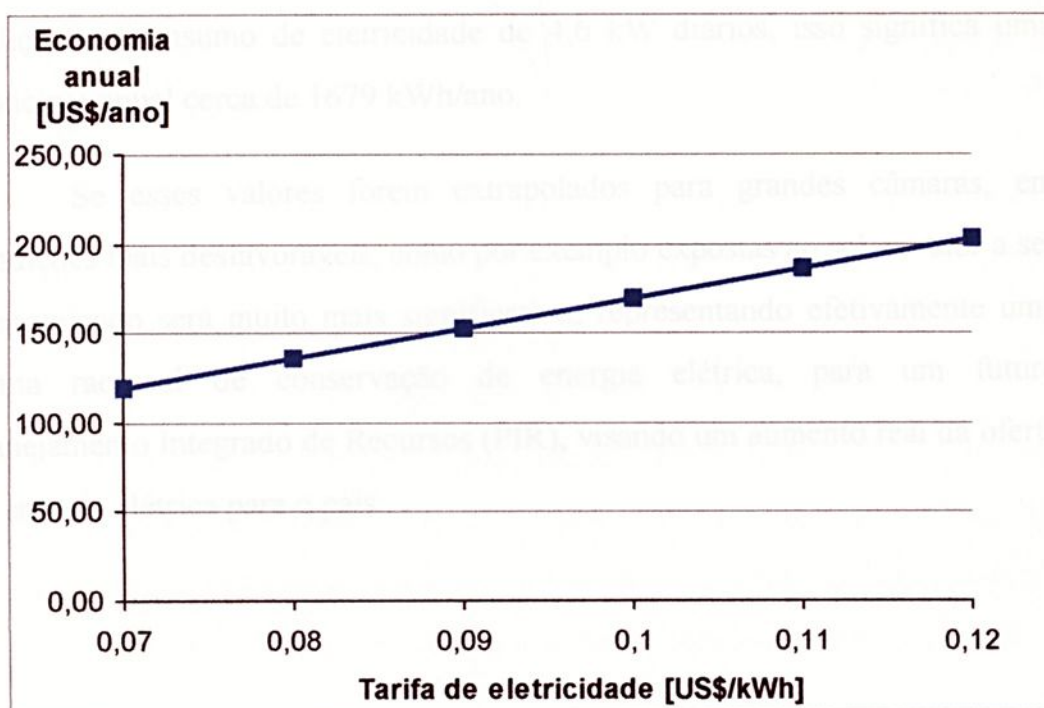


Figura 4.11 – Economia anual esperada em função da tarifa de eletricidade

Verifica-se que para uma tarifa de eletricidade de 0,09 US\$/kWh, tem-se uma economia de 150 US\$/ano em energia elétrica (relacionada com o sistema de refrigeração) usando a câmara de Styrobloc ao invés da câmara com tijolos maciços.

Como esse estudo se baseia em uma câmara de dimensões pequenas, que é normalmente usada em açougues ou pequenos matadouros, o valor economizado por ano representa uma quantia significativa. Considerando que esses estabelecimentos gastam em média com energia elétrica por volta de 2400,00 US\$/ano. Tem-se que, uma economia de aproximadamente 10% do montante gasto com eletricidade.

O fator relevante é a redução na utilização da energia elétrica. Como a potência frigorífica foi reduzida de 1714,75 para 965,85 kcal/h, comparando as construções com tijolos maciço e Styrobloc, respectivamente, espera-se uma

redução no consumo de eletricidade de 4,6 kW diários, isso significa uma economia anual cerca de 1679 kWh/ano.

Se esses valores forem extrapolados para grandes câmaras, em condições mais desfavoráveis, como por exemplo expostas ao sol, o valor a ser economizado será muito mais significativo, representando efetivamente uma forma racional de conservação de energia elétrica, para um futuro Planejamento Integrado de Recursos (PIR), visando um aumento real da oferta de energia elétrica para o país.



FIGURA 3.1 - Vista Tridimensional do Edifício Comercial

Calculou-se a carga térmica, com o qual se dimensionou os sistemas de ar condicionado a serem instalados, a partir das informações definidas para o

## CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASO 2: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MATERIAIS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO DE UMA EDIFÍCIO COMERCIAL

Neste capítulo é realizado um estudo de caso aplicando placas de EPS na construção de um edifício comercial. Realiza-se uma comparação técnica e econômica da aplicação desse material proposto junto a alvenaria, verificando a conservação de energia devido ao EPS e a relação de custo benefício.

Para a análise da carga térmica adotou-se um edifício localizado na cidade de Campinas, estado de São Paulo. Admitiu-se, para efeito de simulação da carga térmica, este edifício variando de térreo até dez andares. São consideradas 22 pessoas realizando atividades moderadas em cada andar.

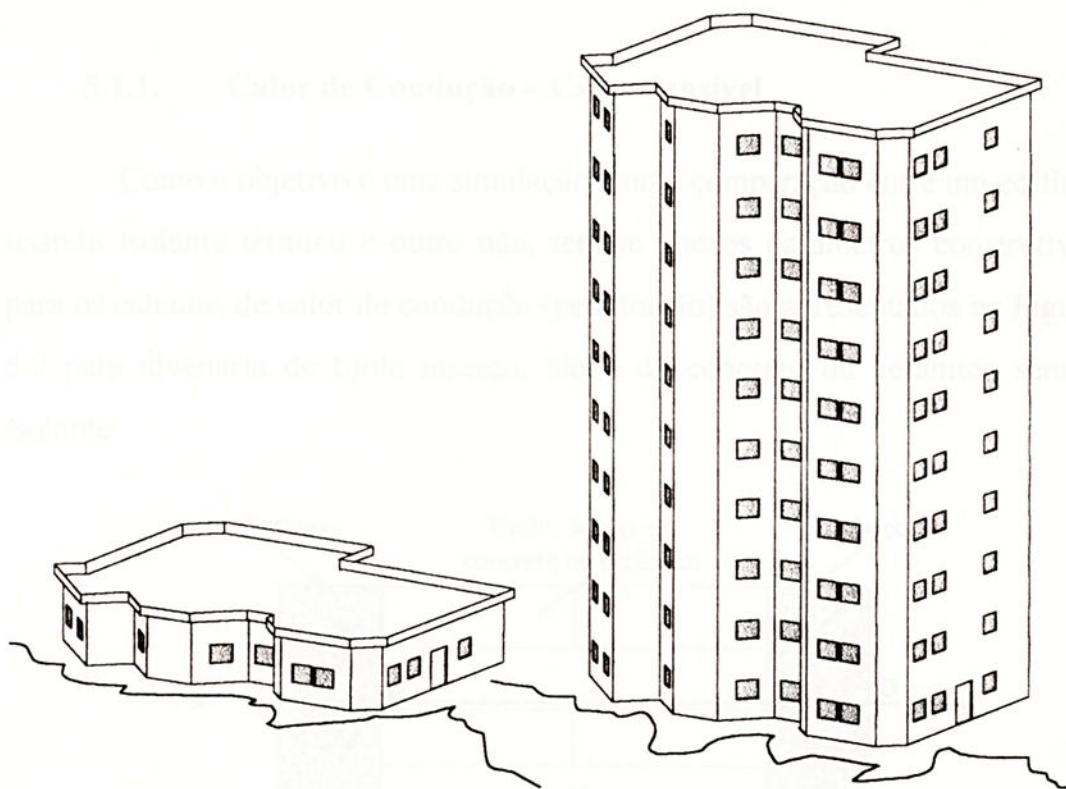


FIGURA 5.1 – Vista Tridimensional do Edifício Comercial

Calculou-se a carga térmica, com o qual se dimensionou os sistemas de ar condicionado a serem instalados, a partir das informações definidas para o

projeto: dimensões do ambiente, localização (latitude, longitude), características do verão local, posição do sol em face do prédio, fim a que se destina a instalação, números de pessoas, equipamentos utilizados, características da construção, tais como cores de parede, telhados e janelas e tipo de material utilizado na construção.

## 5.1. ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA

O cálculo da carga térmica é a somatória de todos os itens que influenciam na quantidade de calor que o sistema de ar condicionado deve retirar do recinto para que seja mantida a temperatura desejada, proporcionando o devido conforto térmico.

### 5.1.1. Calor de Condução – Calor Sensível

Como o objetivo é uma simulação e uma comparação entre um edifício usando isolante térmico e outro não, tem-se que os parâmetros construtivos para os cálculos de calor de condução (penetração) são apresentados na Figura 5.2 para alvenaria de tijolo maciço, bloco de concreto ou cerâmico sem o isolante:

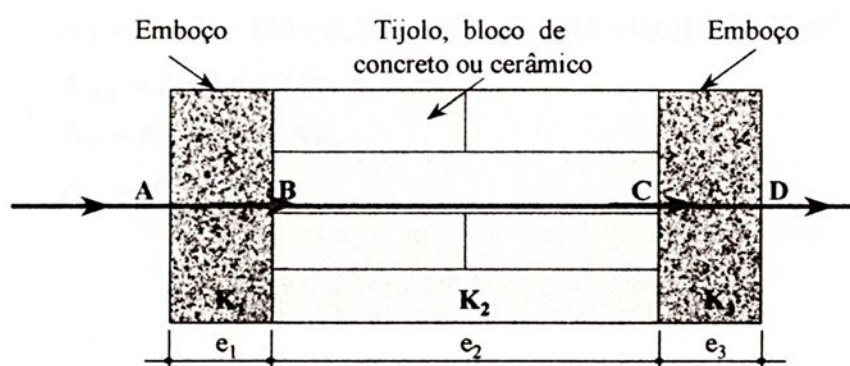


FIGURA 5.2/a - Corte da alvenaria com tijolos maciços, blocos de concreto ou blocos cerâmicos



FIGURA 5.2/ b - Analogia elétrica da parede de alvenaria

Sendo:

$$\begin{array}{ll}
 K_1 = K_3 = 0,989 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C} & e_1 = e_3 = 0,030 \text{ m} \\
 K_2 = 0,774 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C} & e_2 = 0,10 \text{ m} \\
 K_{2'} = 0,602 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C} & e_{2'} = 0,12 \text{ m} \\
 K_{2''} = 0,170 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C} & e_{2''} = 0,15 \text{ m}
 \end{array}$$

Obs.:  $K_2$  e  $e_2$  são os valores dos tijolos maciços,  $K_{2'}$  e  $e_{2'}$  são dos tijolos cerâmicos e  $K_{2''}$  e  $e_{2''}$  são dos blocos de concreto. Dados conforme Holman (1983), Creder (1990), Azeredo (1977), Lamberts (1997) e Grote (1997).

Outros parâmetros além da condução pelas paredes, são os ganhos pelo teto, janelas, portas e em certas situações através do piso

Considerando as dimensões do edifício conforme a Figura 5.3, a área de parede total ( $A_T$ ), de janelas ( $A_J$ ), de portas ( $A_{Por}$ ) e paredes ( $A_P$ ) para um são dadas por:

$$A_T = [\Sigma \text{linear}_{\text{paredes}}] \times 3 = 234,36 \text{ m}^2$$

$$A_J = 234,36 - [20 \times (1,20 \times 1,00) + 2 \times (0,6 \times 0,6)] = 24,72 \text{ m}^2$$

$$A_{Por} = 2 \times (1,6 \times 2,1) = 6,72 \text{ m}^2$$

$$A_P = A_T - A_J - A_{Por}$$

$$A_P = 202,92 \text{ m}^2$$

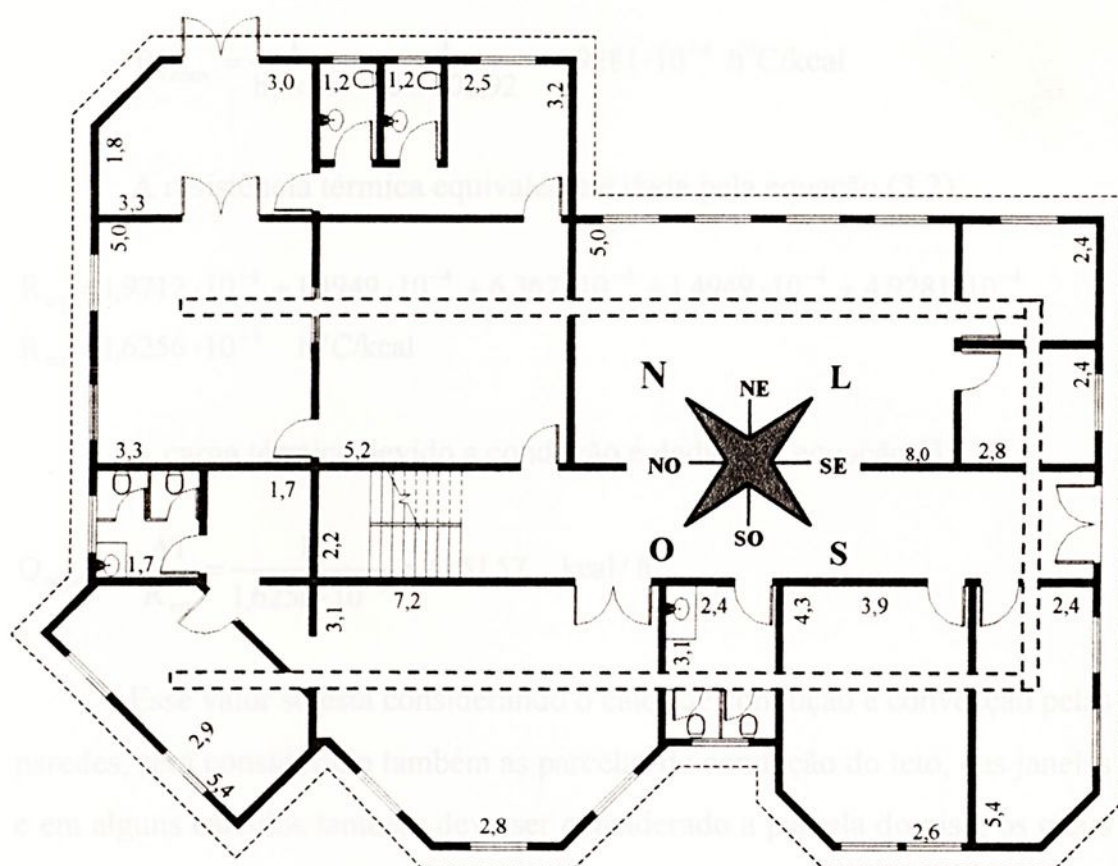


FIGURA 5.3 – Planta baixa do prédio comercial (dimensões em m)

Como exemplo de cálculo, usa-se a alvenaria de tijolos maciços. Define-se uma temperatura externa de  $35^{\circ}\text{C}$  e interna de  $25^{\circ}\text{C}$  e os valores de coeficiente de transferência de calor ( $h$ ) são para o ar externo entre a parede de  $25 \text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$  e para o ar interno e a parede de  $10 \text{ kcal/m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$  (Costa, 1976), tem-se conforme as equações (3.3) e (3.4):

$$R_1 = R_3 = \frac{e_3}{K_{1/3} \times A} = \frac{0,03}{0,989 \times 202,92} = 1,4949 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{\circ}\text{C/kcal}$$

$$R_2 = \frac{e_4}{K_2 \times A} = \frac{0,10}{0,774 \times 202,92} = 6,367 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{\circ}\text{C/kcal}$$

$$R_{e_{\text{conv}}} = \frac{1}{h_e \times A} = \frac{1}{25 \times 202,92} = 1,9712 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{\circ}\text{C/kcal}$$

$$R_{i_{\text{conv}}} = \frac{1}{h_i \times A} = \frac{1}{10 \times 202,92} = 4,9281 \cdot 10^{-4} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

A resistência térmica equivalente é dada pela equação (3.2)

$$R_{\text{eq}} = 1,9712 \cdot 10^{-4} + 1,4949 \cdot 10^{-4} + 6,367 \cdot 10^{-4} + 1,4949 \cdot 10^{-4} + 4,9281 \cdot 10^{-4}$$

$$R_{\text{eq}} = 1,6256 \cdot 10^{-3} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

A carga térmica devido a condução é dada pela equação (3.1):

$$Q_{\text{cond}} A = \frac{\Delta T}{R_{\text{eq}}} = \frac{10}{1,6256 \cdot 10^{-3}} = 6151,57 \text{ kcal/h}$$

Esse valor só está considerando o calor de condução e convecção pelas paredes, será considerado também as parcelas de condução do teto, das janelas e em alguns cálculos também deve ser considerado a parcela do piso, os quais estão representados construtivamente nas figuras 5.4 e 5.5.

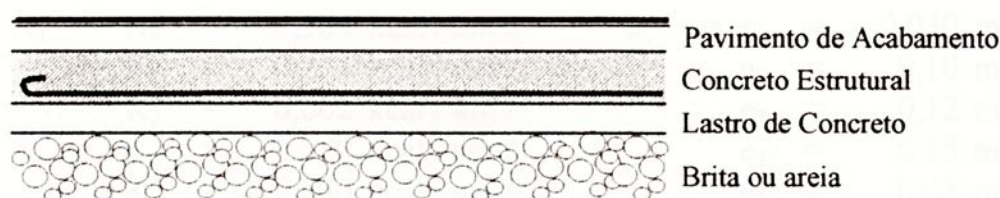


FIGURA 5.4 – Corte do piso do pavimento térreo do edifício, considerando alvenaria com tijolos maciços, blocos de concreto ou blocos cerâmicos

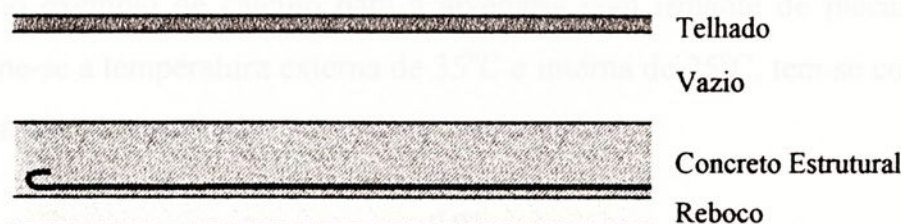


FIGURA 5.5 – Corte do teto do edifício, considerando alvenaria com tijolos maciços, blocos de concreto ou blocos cerâmicos

A figura 5.6, ilustra o caso da alvenaria com as placas de EPS para o isolamento os parâmetros construtivos para os cálculos de calor de condução (penetração).

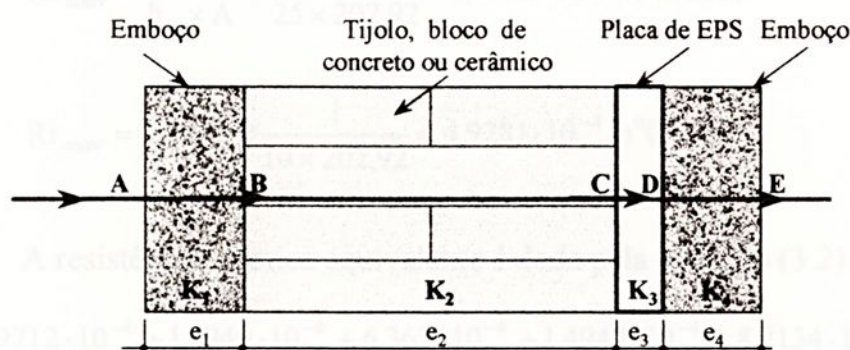


FIGURA 5.6/a - Corte da parede com isolante

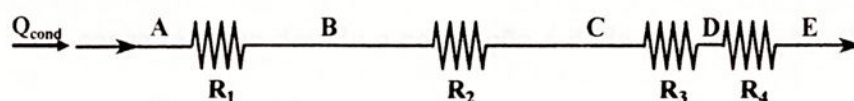


FIGURA 5.6/b - Analogia elétrica da parede com isolante

$$\begin{array}{ll}
 K_1 = K_4 = 0,989 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C} & e_1 = e_4 = 0,030 \text{ m} \\
 K_2 = 0,774 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C} & e_2 = 0,10 \text{ m} \\
 K_{2'} = 0,602 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C} & e_{2'} = 0,12 \text{ m} \\
 K_{2''} = 0,170 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C} & e_{2''} = 0,15 \text{ m} \\
 K_3 = 0,030 \text{ kcal / mh}^\circ\text{C} & e_3 = 0,05 \text{ m}
 \end{array}$$

Obs.:  $K_2$  e  $e_2$  são os valores dos tijolos maciços,  $K_{2'}$  e  $e_{2'}$  são dos tijolos cerâmicos e  $K_{2''}$  e  $e_{2''}$  são dos blocos de concreto.

Como exemplo de cálculo para a alvenaria com isolante de placas de EPS, define-se a temperatura externa de  $35^\circ\text{C}$  e interna de  $25^\circ\text{C}$ , tem-se conforme as equações (3.3) e (3.4):

$$R_1 = R_4 = \frac{e_{1/4}}{K_{1/4} \times A} = \frac{0,03}{0,989 \times 202,92} = 1,4949 \cdot 10^{-4} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$R_2 = \frac{e_4}{K_2 \times A} = \frac{0,10}{0,774 \times 202,92} = 6,367 \cdot 10^{-4} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$R_3 = \frac{e_3}{K_3 \times A} = \frac{0,05}{0,030 \times 202,92} = 8,2134 \cdot 10^{-3} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$Re_{\text{conv}} = \frac{1}{h_e \times A} = \frac{1}{25 \times 202,92} = 1,9712 \cdot 10^{-4} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$Ri_{\text{conv}} = \frac{1}{h_i \times A} = \frac{1}{10 \times 202,92} = 4,9281 \cdot 10^{-4} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

A resistência térmica equivalente é dada pela equação (3.2)

$$R_{\text{eq}} = 1,9712 \cdot 10^{-4} + 1,4949 \cdot 10^{-4} + 6,367 \cdot 10^{-4} + 1,4949 \cdot 10^{-4} + 8,2134 \cdot 10^{-3} + 4,9281 \cdot 10^{-4}$$

$$R_{\text{eq}} = 9,839 \cdot 10^{-3} \text{ h}^\circ\text{C/kcal}$$

A carga térmica devido a condução é dada pela equação (3.1):

$$Q_{\text{cond. alvenaria}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{eq}}} = \frac{10}{9,839 \cdot 10^{-3}} = 1016,36 \text{ kcal/h}$$

### 5.1.2. Calor devido à Insolação

Nesse estudo, o prédio é localizado na cidade de Campinas, que possui latitude de  $22^\circ 53'$  e a longitude de  $47^\circ 04'$ , considera-se o dia 20 de fevereiro e o horário 16 h. A Tabela 5.1 mostra as características do local, do verão no local e da construção.

TABELA 5.1/a – Dados do Local

Local	LCA/UNICAMP
Pavimento	Térreo
Latitude	$22^\circ 53'$
Longitude	$47^\circ 04'$
Data	20 de fevereiro
Hora	16 h

TABELA 5.1/b – Características do Verão no Local

	Interior	Exterior
Temperatura de bulbo seco	25 °C	35 °C
Temperatura de bulbo úmido		24 °C
Umidade Relativa	55 %	48%

TABELA 5.1/c – Características da Construção

Telhado	<input type="checkbox"/> Claro	<input checked="" type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Escuro
Paredes externas	<input checked="" type="checkbox"/> Clara	<input type="checkbox"/> Média	<input type="checkbox"/> Escura
Janelas	<input type="checkbox"/> Com Toldo	<input type="checkbox"/> Na sombra	<input checked="" type="checkbox"/> Sem Proteção
Planta baixa	Figura 5.3		

*Transmissão de Calor do sol através de superfícies transparentes (vidro)*

Pelos dados obtidos de Creder (1990) e conforme a equação (3.6), tem-se que através das janelas penetram:

$$\text{Janelas da face NE} \Rightarrow Q_{NE} = 35 \times [2 \times (0,6 \times 0,6) + 6 \times (1,2 \times 1,0)] = 277,2 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Janelas da face SE} \Rightarrow Q_{SE} = 35 \times [3 \times (1,2 \times 1,0)] = 126,0 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Janelas da face S} \Rightarrow Q_S = 35 \times [1 \times (1,2 \times 1,0)] = 42,0 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Janelas da face SO} \Rightarrow Q_{SO} = 269 \times [4 \times (1,2 \times 1,0)] = 1291,2 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Janelas da face O} \Rightarrow Q_O = 448 \times [3 \times (1,2 \times 1,0)] = 1612,8 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Janelas da face NO} \Rightarrow Q_{\text{NO}} = 331 \times [3 \times (1,2 \times 1,0)] = 1191,6 \text{ kcal/h}$$

Portanto, a carga térmica devido a insolação pelas janelas é:

$$Q_J = \sum Q \text{ todas as faces} = 4540,8 \text{ kcal/h}$$

Considerando as janelas protegidas por persianas internas e refletente, o valor da carga térmica ( $Q_J$ ) será multiplicado por um coeficiente de redução entre 0,5 a 0,66 (Creder, 1990). Assim:

$$Q_J = 4540,8 \times 0,60 = 2724,48 \text{ kcal/h}$$

### *Transmissão de Calor do sol através de superfícies opacas*

Pelos dados obtidos de Creder (1990) tem-se que através das superfícies opacas (excluindo as janelas) penetram e considerando as configurações construtivas conforme Figura 5.1 e 5.3 e equação (3.7), tem-se:

#### Configuração sem isolante

$$\text{Parede na face N} \Rightarrow Q_N = 3,033153 \times (11,5) \times (10 + 5,5) = 540,37 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Parede na face NE} \Rightarrow Q_{\text{NE}} = 3,033153 \times (52,48) \times (10 + 8,3) = 2840,83 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Parede na face SE} \Rightarrow Q_{\text{SE}} = 3,033153 \times (33,6) \times (10 + 5,55) = 1584,76 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Parede na face S} \Rightarrow Q_S = 3,033153 \times (21,91) \times (10) = 664,56 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Parede na face SO} \Rightarrow Q_{\text{SO}} = 3,033153 \times (24,67) \times (10 + 5,55) = 1163,57 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Parede na face O} \Rightarrow Q_O = 3,033153 \times (29,93) \times (10 + 11,1) = 1915,51 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Parede na face NO} \Rightarrow Q_{\text{NO}} = 3,033153 \times (28,83) \times (10 + 8,3) = 1600,26 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{SO} = \sum Q \text{ todas as faces} = 10.376,76 \text{ kcal/h}$$

### Configuração com isolante de placas de EPS

$$\text{Parede na face N} \Rightarrow Q_N = 0,50087 \times (11,5) \times (10 + 5,5) = 89,28 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Parede na face NE} \Rightarrow Q_{NE} = 0,50087 \times (52,48) \times (10 + 8,3) = 481,03 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Parede na face SE} \Rightarrow Q_{SE} = 0,50087 \times (33,6) \times (10 + 5,5) = 261,69 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Parede na face S} \Rightarrow Q_S = 0,50087 \times (21,91) \times (10) = 109,74 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Parede na face SO} \Rightarrow Q_{SO} = 0,50087 \times (24,67) \times (10 + 5,5) = 192,14 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Parede na face O} \Rightarrow Q_O = 0,50087 \times (29,93) \times (10 + 11,1) = 316,31 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Parede na face NO} \Rightarrow Q_{NO} = 0,50087 \times (28,83) \times (10 + 8,3) = 268,917 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{SO} = \sum Q \text{ todas as faces} = 1.719,117 \text{ kcal/h}$$

### 5.1.3. Calor dos Dutos – Calor Sensível

A carga térmica devido aos dutos é dada conforme equação (3.8):

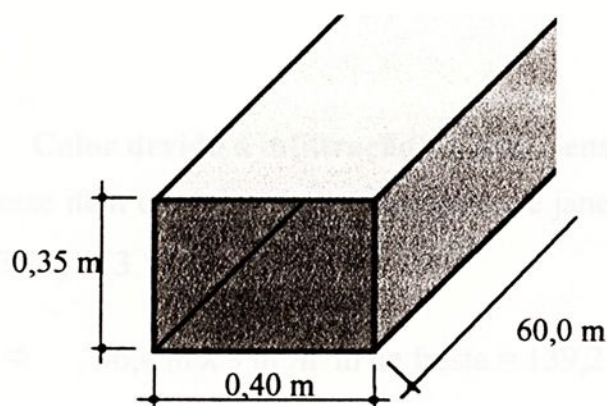


FIGURA 5.6 – Dimensão lateral dos dutos

$$Q_D = [2 \times 60,0 \times (0,40 + 0,35)] \times 0,73 \times (35 - 25) = 657 \text{ kcal/h}$$

#### 5.1.4. Calor devido as Pessoas – Calor Sensível e Latente

O número de pessoas que trabalha nesse ambiente é de 22 e pode-se considerar que estão sentadas ou em movimento leve. O calor devido as pessoas é calculado conforme as equações (3.9) e (3.10).

$$\text{Calor Sensível} \quad \Rightarrow \quad 22 \text{ pessoas} \times 62,0 = 1364,0 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Calor Latente} \quad \Rightarrow \quad 22 \text{ pessoas} \times 38,1 = 838,2 \text{ kcal/h}$$

#### 5.1.5. Calor Devido aos Equipamentos – Calor sensível e latente

Para esse cálculo considera-se que no ambiente tem:

$$\text{Luz fluorescente} \quad \Rightarrow \quad 5000 \times 1,2 \times 0,860 = 5160,0 \text{ kcal/h (calor sensível)}$$

$$\text{Microcomputadores} \quad \Rightarrow \quad 500 \times 3 \times 0,860 = 1290,0 \text{ kcal/h (calor sensível)}$$

$$\text{Fornos (3h/dia de uso)} \quad \Rightarrow \quad 6112 \times 1/8 \times 0,860 = 675,0 \text{ kcal/h (calor sensível)}$$

$$\text{Xerox (8h/dia)} \quad \Rightarrow \quad 1905 \times 1/3 \times 0,860 = 546,0 \text{ kcal/h (calor sensível)}$$

$$Q_E = \sum \text{equipamentos} = 7653,0 \text{ kcal/h}$$

#### 5.1.6. Calor devido à infiltração – Calor Sensível e Latente

Para esse item usa-se as frestas das portas e janelas para os cálculos e as equações (3.11) e (3.12).

$$\text{Janelas} \quad \Rightarrow \quad 46,4 \text{ m} \times 3 \text{ m}^3/\text{h m de fresta} = 139,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Portas} \quad \Rightarrow \quad 7,4 \text{ m} \times 13 \text{ m}^3/\text{h m de fresta} = 96,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Calor Sensível

$$Q_s = (139,2 + 96,2) \times 0,29 \times (35 - 25) = 682,66 \text{ kcal/h}$$

Calor Latente

$$Q_L = 583 \times [(0,021 - 0,011) \times 1,2 \times (139,2 + 96,2)] = 1646,86 \text{ kcal/h}$$

**5.1.7. Calor devido à ventilação – Calor Sensível e Latente**

Para o laboratório com 22 pessoas trabalhando, tem-se, conforme as equações (3.11) e (3.12):

$$\text{Ar exterior para ventilação} \quad \Leftrightarrow 22 \times 20 \text{ m}^3/\text{h} = 440,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Calor Sensível

$$Q_s = (440,0) \times 0,29 \times (35 - 25) = 1276,0 \text{ kcal/h}$$

Calor Latente

$$Q_L = 583 \times [(0,021 - 0,011) \times 1,2 \times (440,0)] = 3078,24 \text{ kcal/h}$$

**5.1.8. Cálculo do calor a ser retirado**

Os resultados dos cálculos da carga são apresentados na Tabela 5.2, considerando a alvenaria isolada com placas de EPS e a alvenaria sem o isolamento e com as condições já apresentadas, isto é, temperatura externa de 35°C, interna de 25°C, 22 pessoas no ambiente, etc.

TABELA 5.2- Calor a ser retirado do edifício térreo - Carga Térmica

Discriminação	Normal		Isolado		Styroblock	
	C. Sensível [kcal/h]	C. Latente [kcal/h]	C. Sensível [kcal/h]	C. Latente [kcal/h]	C. Sensível [kcal/h]	C. Latente [kcal/h]
Condução – Paredes	6151,57	0,00	1016,36	0,00	485,14	0,00
Condução – Teto	4000,68	0,00	1232,75	0,00	1232,75	0,00
Condução – Janelas	1280,49	0,00	1280,49	0,00	1280,49	0,00
Insolação – Janelas	2724,48	0,00	2724,48	0,00	2724,48	0,00
Insolação – Paredes	10376,76	0,00	1719,12	0,00	818,35	0,00
Insolação – Tetos	7321,24	0,00	2872,40	0,00	2872,40	0,00
Dutos	657,00	0,00	657,00	0,00	657,00	0,00
Pessoas	1364,00	838,20	1364,00	838,20	1364,00	838,20
Equipamentos	7653,00	0,00	7653,00	0,00	7653,00	0,00
Infiltração	682,66	1646,86	682,66	1646,86	682,66	1646,86
Ventilação	1276,00	3078,24	1276,00	3078,24	1276,00	3078,24
Total Sensível	43488,03	-	21864,78	-	20430,02	-
Total Latente	-	5563,30	-	5563,30	-	5563,30
<b>Total [kcal/h]</b>	<b>49051,33</b>		<b>27428,08</b>		<b>25993,32</b>	
<b>Total [kW]</b>	<b>57,047</b>		<b>31,899</b>		<b>30,223</b>	

A diferença percentual da carga térmica entre os casos é de 44,08 % menor do método construtivo com o isolante de placas de EPS em relação ao sem isolante e para o Styroblock é de 47,01%. A diferença entre o uso método com o Styroblock e só aplicação de placas de EPS é de 5,23%. Esses valores serão mais significativos quando for apresentado a análise econômica, onde será verificado a viabilidade econômica da utilização deste materiais. Porém pode-se concluir que tendo uma carga térmica menor haverá uma redução tanto com o investimento nos equipamentos de refrigeração como nos gastos de energia elétrica.

A Figura 5.8 mostra graficamente os valores de carga térmica total (em kcal/h) para um edifício comercial, com as especificações adotadas já descritas, feitas com os materiais de tijolos maciços, bloco de concreto, tijolo cerâmico e Styroblock e aplicação de placas de EPS com 5cm de espessura, variando a temperatura externa de 25 a 40°C.

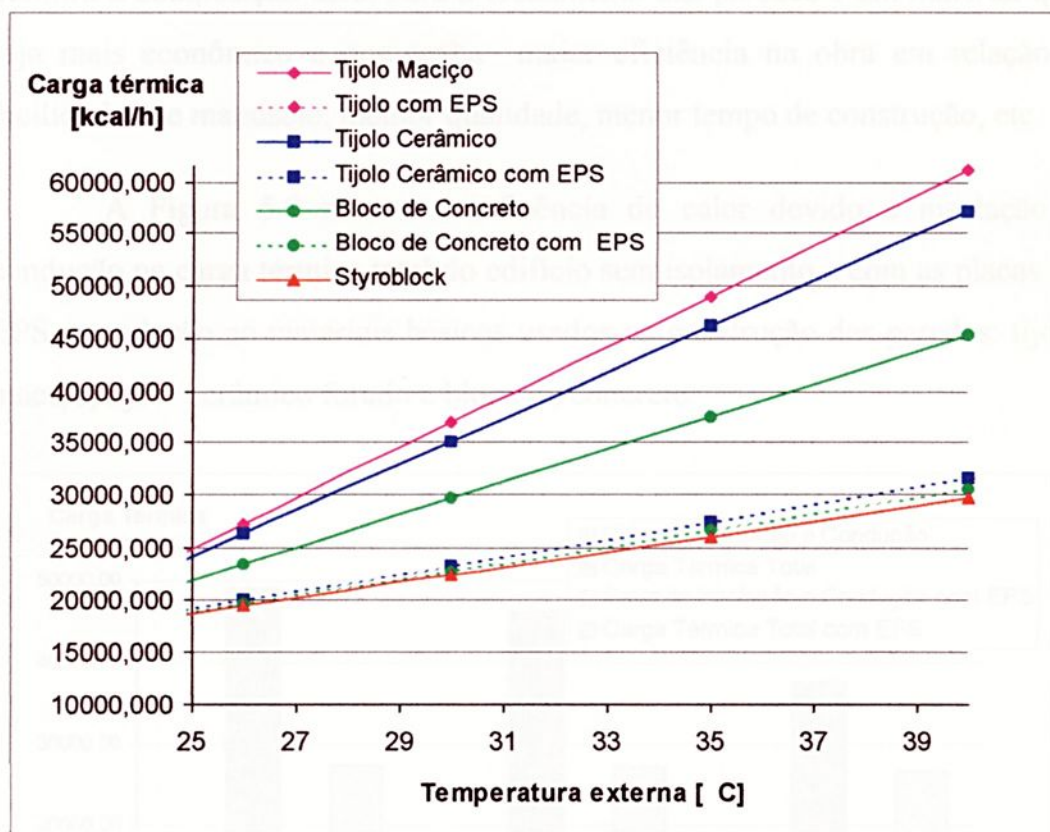


FIGURA 5.8 – Gráfico da carga térmica total em função da temperatura externa variando o tipo de material, com e sem isolamento

Observa-se que quando se aplica as placas isolantes ou se utilizam o Styroblock, os valores do cálculo da carga térmica ficam muito próximos, independente do material que se está usando como fechamento, isto é, tijolos maciços, cerâmicos ou blocos de concreto. Por exemplo, a uma temperatura externa de 35 °C ( $\Delta T=10$  °C) tem-se uma diferença percentual de 0,34% do fechamento de tijolos cerâmicos em relação aos tijolos maciços e 2,74% dos

blocos de concreto. A diferença entre esses materiais sem o isolamento das placas de EPS são de 5,91% a menos para os tijolos cerâmicos e 23,43% para os blocos de concreto em relação ao tijolo maciço. Esse resultado mostra que o uso das placas de EPS como isolante são eficientes, praticamente não importando o material que está sendo utilizado em conjunto, portanto o que definirá a composição ideal para o fechamento das paredes é um material que seja mais econômico e que tenha maior eficiência na obra em relação a facilidades de manuseio, melhor qualidade, menor tempo de construção, etc.

A Figura 5.9 mostra a influência do calor devido a insolação e condução na carga térmica total do edifício sem isolamento e com as placas de EPS em relação ao materiais básicos usados na construção das paredes: tijolo maciço, tijolo cerâmico furado e bloco de concreto.

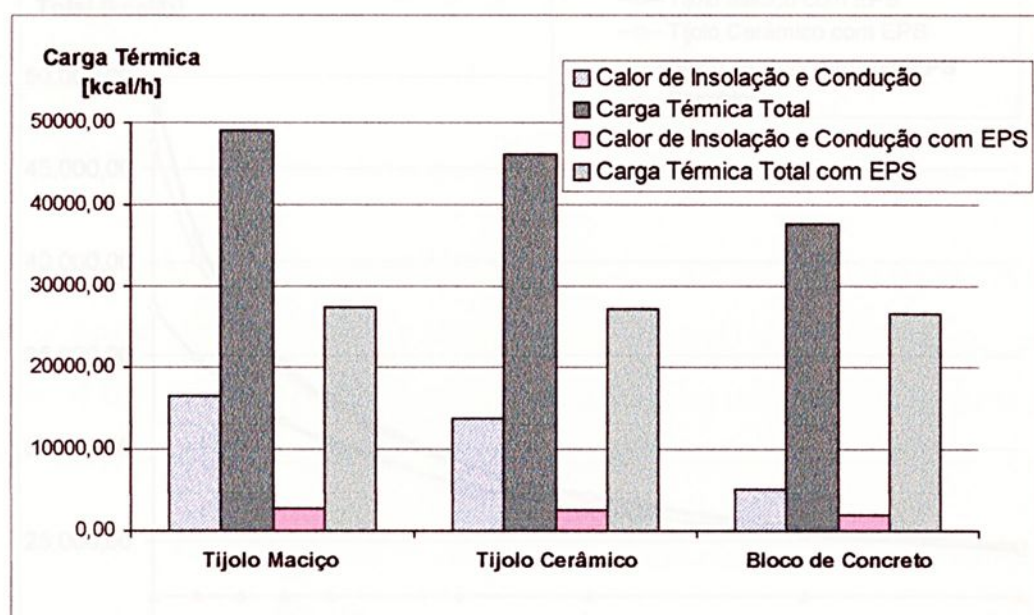


FIGURA 5.9 – Influência das placas de EPS na carga térmica para os materiais: tijolo maciço, tijolo cerâmico furado e bloco de concreto

Quando aplicado placas de EPS em alvenarias constituídas de tijolos maciços, tem-se uma redução de 44,08% nos cálculos de carga térmica, cabe

ressaltar que esses resultados são para as condições já descritas e consideradas para o exemplo do edifício comercial térreo, com um diferencial de temperatura externa e interna de  $10^{\circ}\text{C}$ . Quando se utiliza o isolamento em tijolos cerâmicas furados, a redução com a carga térmica total é de 40,77% e para os blocos de concreto isolados é de 28,97%. As placas isolantes influenciam diretamente nas parcelas de condução e insolação, onde pode-se verificar a redução que houve para cada tipo de material empregado juntamente com as placas de EPS.

Na Figura 5.10 é mostrado a influência da espessura da placa de EPS no edifício considerado para cada andar, variando a espessura a uma temperatura externa de  $35^{\circ}\text{C}$ .

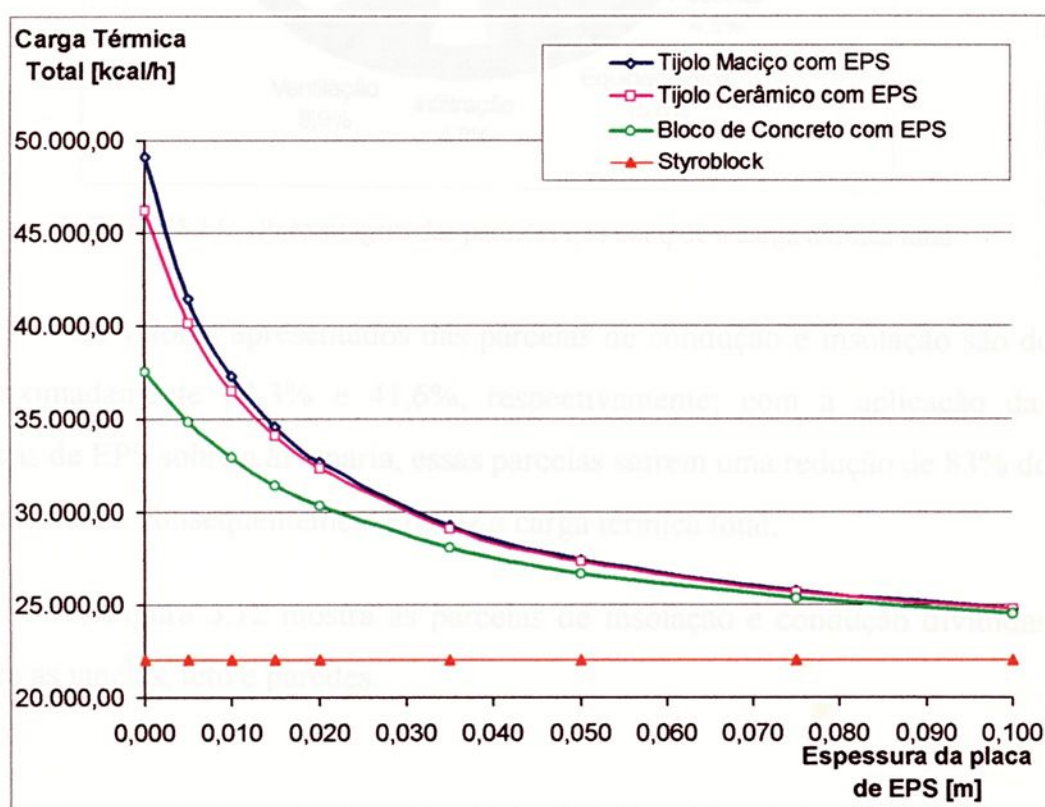


FIGURA 5.10 – Influência da espessura das placas de EPS aplicadas sobre os materiais: tijolo maciço, tijolo cerâmico furado e bloco de concreto

Como pode-se observar, quanto maior a espessura do isolante, menor será a carga térmica total. As placas de EPS influenciam diretamente nas parcelas de condução e insolação da carga térmica total, se esses valores forem modificados, a carga térmica também será.

A figura 5.11 mostra a porcentagem dessas parcelas em relação a carga térmica total para uma temperatura externa de 35°C e uma espessura das placas de 50mm para uma parede composta de tijolos maciços.

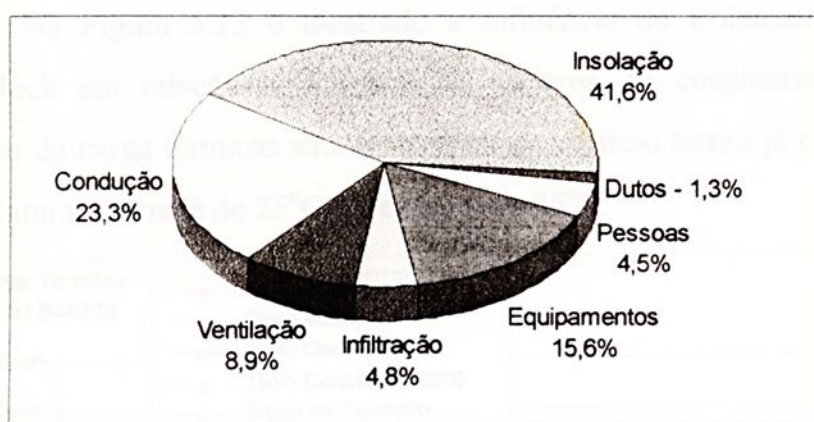


FIGURA 5.11 – Porcentagem das parcelas que compõe a carga térmica total

Os valores apresentados das parcelas de condução e insolação são de aproximadamente 23,3% e 41,6%, respectivamente; com a aplicação das placas de EPS sobre a alvenaria, essas parcelas sofrem uma redução de 83% do seus valores, conseqüentemente reduz a carga térmica total.

A Figura 5.12 mostra as parcelas de insolação e condução divididas entre as janelas, teto e paredes.

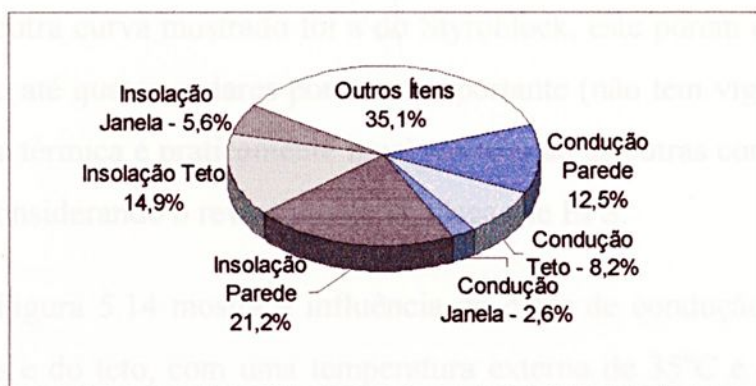


FIGURA 5.12 –Parcelas de insolação e condução na composição da carga térmica total

Na Figura 5.13 é mostrado a influência do isolamento de EPS e Styroblock em relação ao número de andares, as considerações para os cálculos da carga térmica são as mesmas do edifício térreo já considerado, a temperatura interna é de 25°C e a externa de 35°C.

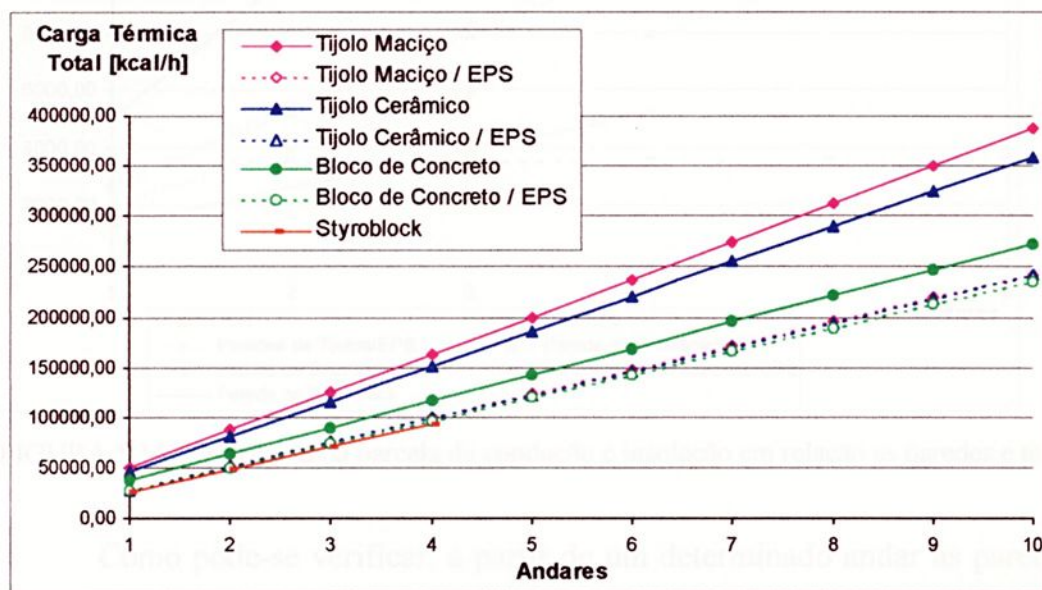


Figura 5.13 – Gráfico da carga térmica total em função do número de andares

Observa-se que a cada andar o isolamento térmico tem uma relevância muito grande em relação aos valores calculados, porém a diferença percentual entre a aplicação das placas de EPS e sem aplicação diminui, isto é, para o prédio térreo a diminuição da carga térmica com a aplicação das placas de EPS é de 44,08% e para um prédio de dez andares a carga térmica total fica 37,5% menor.

A outra curva mostrada foi a do Styrobloc, este porém é um método que é usado até quatro andares por ser autoportante (não tem vigas e pilares). A eficiência térmica é praticamente igual em relação as outras composições de alvenaria considerando o revestimento de placas de EPS.

A Figura 5.14 mostra a influência do calor de condução e insolação das paredes e do teto, com uma temperatura externa de 35°C e espessura da placa de EPS de 50mm.

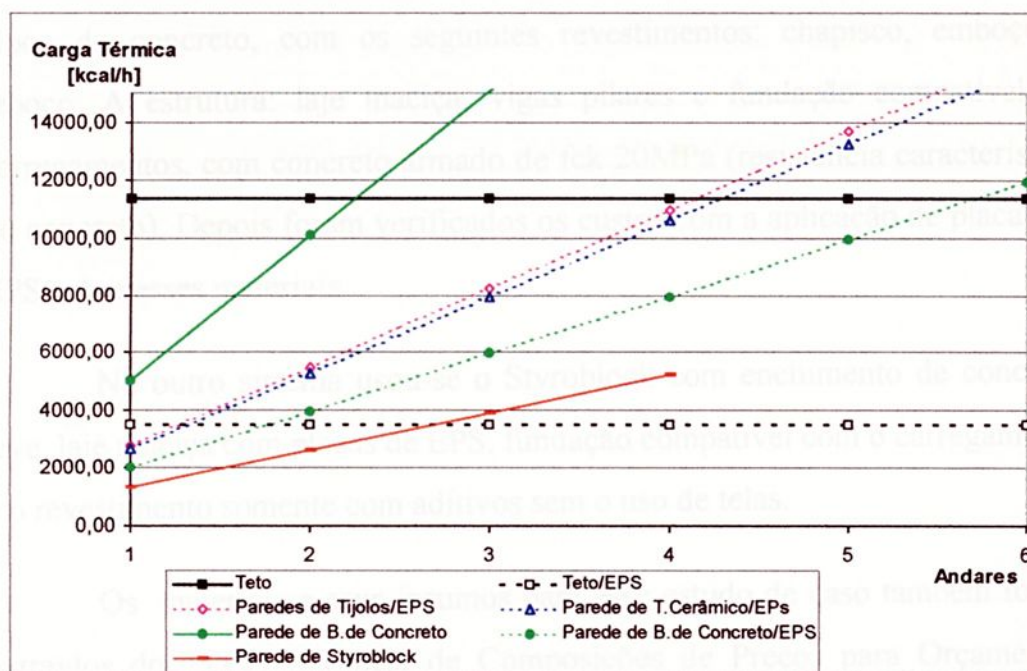


FIGURA 5.14 – Influência da parcela de condução e insolação em relação as paredes e teto

Como pode-se verificar, a partir de um determinado andar as paredes começam a ter maior influência na carga térmica total do que a cobertura, isto é, para um andar as paredes tem uma carga térmica de insolação e condução menor que a da cobertura e, como por exemplo, para a parede construída com Styrobloc tem-se que a partir do terceiro andar a carga térmica de condução e insolação das paredes é maior que a da cobertura.

## 5.2. ORÇAMENTO DO SISTEMAS PROPOSTOS

### 5.2.1. Custo da obra civil

Para compor os custos da construção do edifício comercial especificado foram considerados os materiais utilizados e suas quantidades, a mão de obra e os equipamentos empregados. No sistema construtivo de alvenaria convencional estudou-se: tijolos maciços, tijolo cerâmico furado, bloco de concreto, com os seguintes revestimentos: chapisco, emboço e reboco. A estrutura: laje maciça, vigas pilares e fundação compatível ao carregamentos, com concreto armado de fck 20MPa (resistência característica do concreto). Depois foram verificados os custos com a aplicação de placas de EPS sobre esses materiais.

No outro sistema usou-se o Styrobloc com enchimento de concreto leve, laje maciça com placas de EPS, fundação compatível com o carregamento e o revestimento somente com aditivos sem o uso de telas.

Os materiais e seus insumos para esse estudo de caso também foram extraídos do TPCO - Tabela de Composições de Preços para Orçamentos (1986) e os custos (preços dos materiais utilizados) foram extraídos das revistas Boletim de Custos (1999) e Construção (1999). Os preços apresentados consideram B.D.I. = 0,00% e M.O. (mão de obra) com encargos leis sociais = 123,0%.

A composição de custos para o método construtivo usando alvenaria comum e Styrobloc é apresentado na Tabela 5.3.

TABELA 5.3 - Composição de custos para o método usando alvenaria comum e Styrobloc para dez andares

ANDAR	CUSTO EM US\$						
	Tijolos maciços		Tijolo furado		Bloco de concreto		Styrobloc
	Não isolado	Placas de EPS	Não isolado	Placas de EPS	Não isolado	Placas de EPS	
1	55926,84	58833,80	50394,15	53301,11	51787,71	54694,67	72596,68
2	92106,58	96201,61	81041,22	85136,25	83828,33	87923,36	126373,06
3	130043,79	135326,89	113445,74	118728,84	117626,41	122909,52	180487,74
4	167840,36	174311,53	145709,62	152180,80	151283,86	157755,03	234461,78
5	205636,92	213296,17	177973,51	185632,76	184941,30	192600,55	-
6	243433,49	252280,81	210237,39	219084,71	218598,75	227446,07	-
7	281230,06	291265,45	242501,28	252536,67	252256,19	262291,58	-
8	319026,63	330250,10	274765,17	285988,63	285913,63	297137,10	-
9	357034,15	369445,69	307240,00	319651,54	319782,03	332193,57	-
10	394678,51	408278,11	339351,67	3597095,0	353287,26	366886,87	-

Os resultados dos custos indicam que para o andar térreo o maior custo é o método usando o Styrobloc, e o menor é o do tijolo cerâmico (que também é o mais usado nas obras atualmente). Os blocos de concreto podem não ter o revestimento de reboco, tendo assim seu custo reduzido em 10,86%. A figura 5.15 ilustra os custos dos métodos, variando o número de andares.

TABELA 5.4 - Custo da composição de investigação em relação a carga térmica Styrobloc para um andar

Método	Tijolos maciços		Tijolo furado		Bloco de concreto		Styrobloc
	Não isolado	Placas de EPS	Não isolado	Placas de EPS	Não isolado	Placas de EPS	
Realiz	59051,333	27428,081	46153,249	27334,815	37657,190	36116,317	10940,81
AV	57.046	31.899	57.676	31.790	43.679	31.023	40.236
Custo (US\$)	20621,87	11569,82	19461,81	11526,39	13837,04	11218,90	10940,81

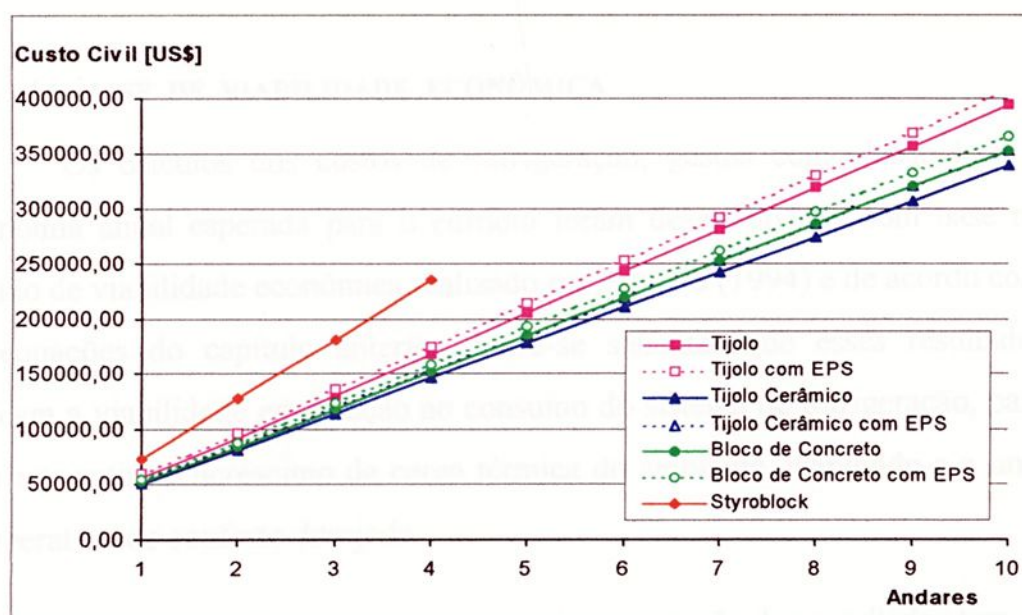


FIGURA 5.15 – Gráfico do custo de obra civil em relação ao número de andares

## 5.2.2. Custo do equipamento de refrigeração

Na escolha do maquinário para refrigeração usou-se o calor a ser retirado, calculado para cada tipo de material usado no edifício comercial, onde obtiveram-se os valores dos custos apresentados na Tabela 5.4. O equipamento foi dimensionado para um sistema de “Self Contained” a Água, definido juntamente com fabricantes de equipamentos de refrigeração e o custo conforme a revista Boletim de Custos (1999) com valor médio adotado de 362,26 US\$/kWh ou 0,421 US\$/kcal/h. Assim, os valores dos equipamentos são verificados para cada carga térmica calculada.

TABELA 5.4 – Custo do maquinário de refrigeração em relação a carga térmica Styroblock para um andar

ANDAR	Tijolos maciços		Tijolo furado		Bloco de concreto		Styroblock
	Não isolado	Placas de EPS	Não isolado	Placas de EPS	Não isolado	Placas de EPS	
kcal/h	49051,333	27428,081	46153,249	27334,803	37557,190	26676,517	25993,315
kW	57,046	31,899	53,676	31,790	43,679	31,025	30,230
Custo [US\$]	20683,87	11565,82	19461,81	11526,49	15837,04	11248,90	10960,81

### 5.3. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Os cálculos dos custos de refrigeração, gastos com eletricidade e economia anual esperada para o edifício foram desenvolvidos com base no estudo de viabilidade econômica realizado por Silveira (1994) e de acordo com as equações do capítulo anterior. Deve-se salientar que esses resultados buscam a viabilidade em relação ao consumo do sistema de refrigeração, para que este retire o acréscimo de carga térmica do ambiente, mantendo-o a uma temperatura de conforto desejada.

Fazendo-se as considerações para a apresentação dos resultados tem-se que, primeiramente, o valor fixo para a tarifa de eletricidade é de 0,09 US\$/kWh, em alguns casos com variação entre de 0,07 a 0,12 US\$/kWh.

A taxa anual de juros ( $r$ ) varia de 6 a 18% e o período de amortização do capital investido ( $k$ ) varia de seis meses a cinco anos.

A espessura das placas isolantes de EPS aplicadas junto as paredes e sobre o teto é de 50 mm. Na maioria dos gráficos, os resultados são para um pavimento somente, com exceção do gráfico que especifica a variação por andares.

As temperaturas consideradas são para o ambiente externo de 35°C e para o interno de 25°C, portanto, uma variação de 10°C.

A Figura 5.16 mostra a economia anual esperada relacionando todos os tipos de composição de alvenarias considerados, em função da tarifa de eletricidade.

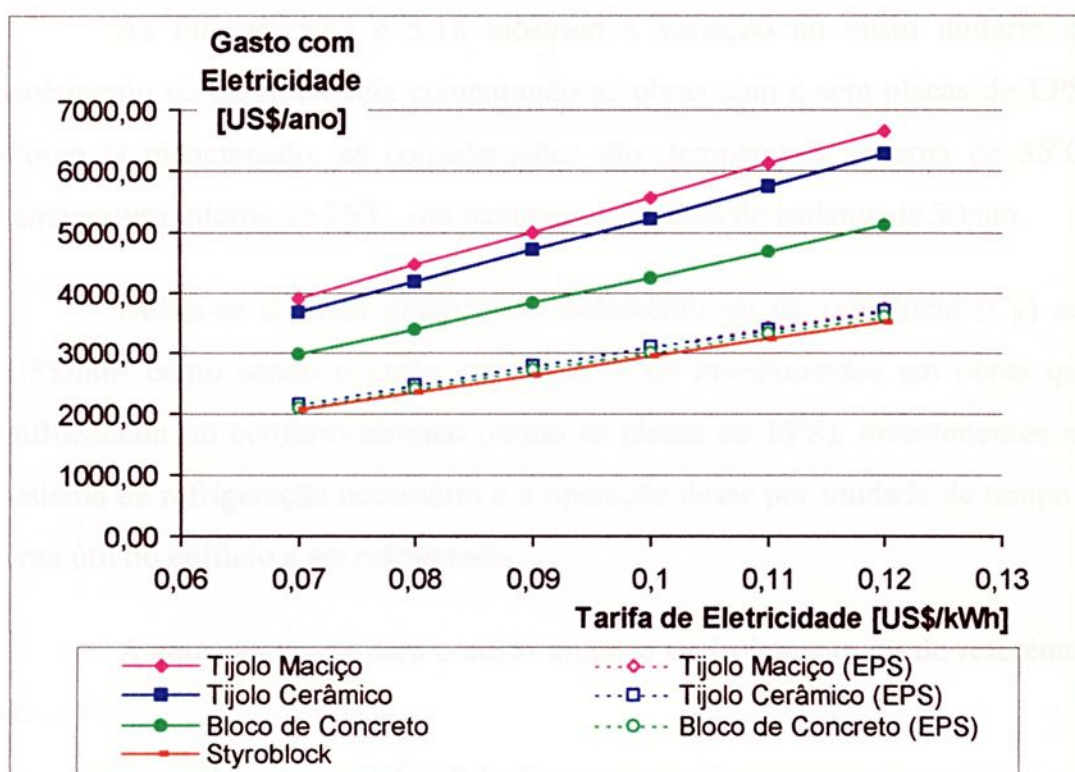


FIGURA 5.16 – Gráfico dos gastos anuais em função tarifa de eletricidade

Verifica-se que conforme aumenta a tarifa de eletricidade, os gastos também aumentam, isto é, aumentando a tarifa de 0,07 para 0,12US\$/kWh tem-se um aumento nos gastos anuais com energia elétrica devido a refrigeração de cerca de 70%.

Observa-se a vantagem do uso de isolantes térmicos no edifício, sendo que os gastos com energia elétrica consumida no sistema de refrigeração, apresentam valores maiores para os edifícios sem isolamento em relação aos que usam as placas de EPS em suas paredes e sob o telhado. Enquanto um edifício térreo de tijolos maciços isolados com placas de EPS consome anualmente em energia 2790 US\$/ano, um edifício térreo sem esse isolamento consome 5000 US\$/ano (79% a mais no gastos de energia elétrica visando conforto térmico).

As Figuras 5.17 e 5.18 mostram a variação do custo unitário de isolamento ou de referência comparando as obras com e sem placas de EPS. Como já mencionado, as considerações são: temperatura externa de 35°C, temperatura interna de 25°C, um pavimento e placas de isolante de 50mm.

Defini-se o custo unitário de isolamento ou de referência ( $C_R$ ) em US\$/hm<sup>2</sup> como sendo o custo que envolve os investimentos em obras que influenciam no conforto térmico (como as placas de EPS), investimentos no sistema de refrigeração necessário e a operação desse por unidade de tempo e área útil do edifício a ser refrigerado.

A equação usada para o custo unitário de isolamento ou de referência é:

$$C_R = \frac{(I_{\text{civil}} + I_{\text{maq}}) \times f}{H \times A} + \frac{PeI \times E_C}{A} \quad [\text{US\$/hm}^2] \quad (5.1)$$

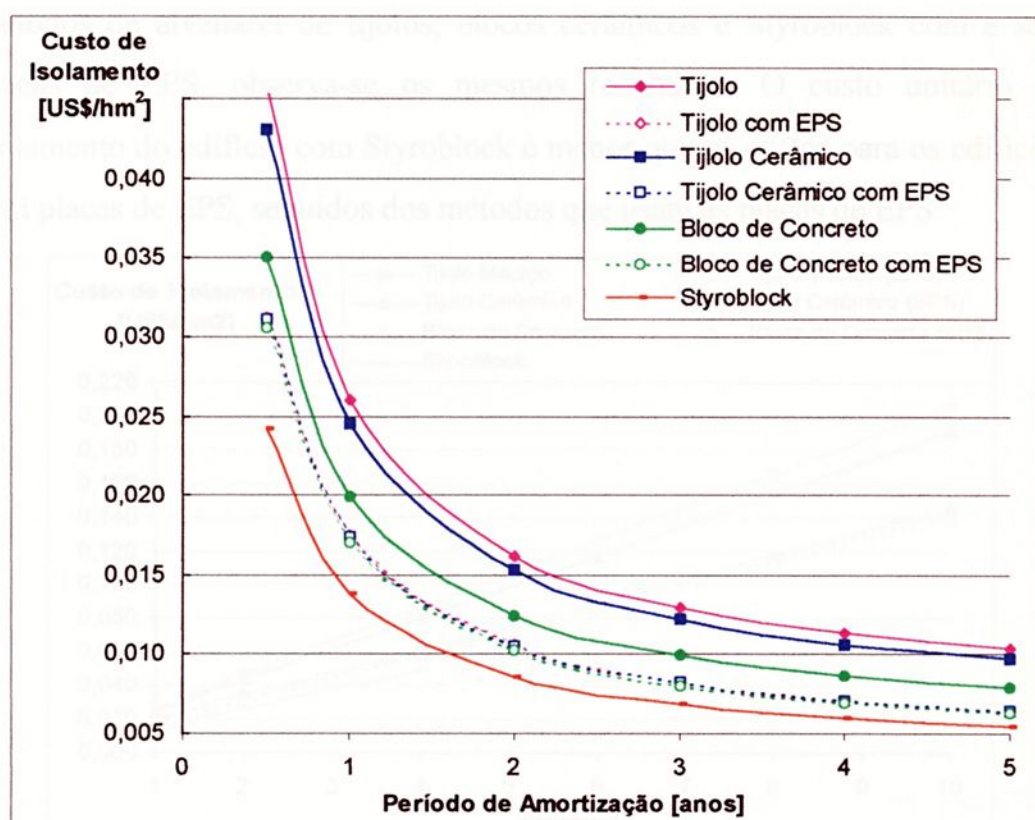


FIGURA 5.17 – Gráfico do custo de isolamento em relação ao período de amortização

Verifica-se que o maior custo unitário de isolamento é para a alvenaria de tijolos maciços, seguido dos custos que não contém isolamento térmico das placas de EPS. Mesmo com o investimento das placas isolantes, os custos unitários para os métodos que contém as placas de EPS são menores, mostrando a vantagem desses métodos, as diferenças são de aproximadamente de 35% a menos comparando o tijolo maciço com e sem placa, 31% para tijolos cerâmicos com e sem placa e 17% para os blocos de concreto (com e sem placa). No caso do Styrobloc não foi considerado investimento civil em isolamento, pois o próprio Styrobloc é isolante térmico, mas deve-se observar que o investimento no método usando Styrobloc é mais alto quando se compara a aplicação das placas na alvenaria comum, como já foi comentado anteriormente.

Na Figura 5.18, que mostra o custo de isolamento em relação a um período de amortização de um ano, variando o número de andares para os métodos de alvenaria de tijolos, blocos cerâmicos e Styrobloc com e sem placas de EPS, observa-se os mesmos resultados. O custo unitário de isolamento do edifício com Styrobloc é menor que os custos para os edifícios sem placas de EPS, seguidos dos métodos que usam as placas de EPS.

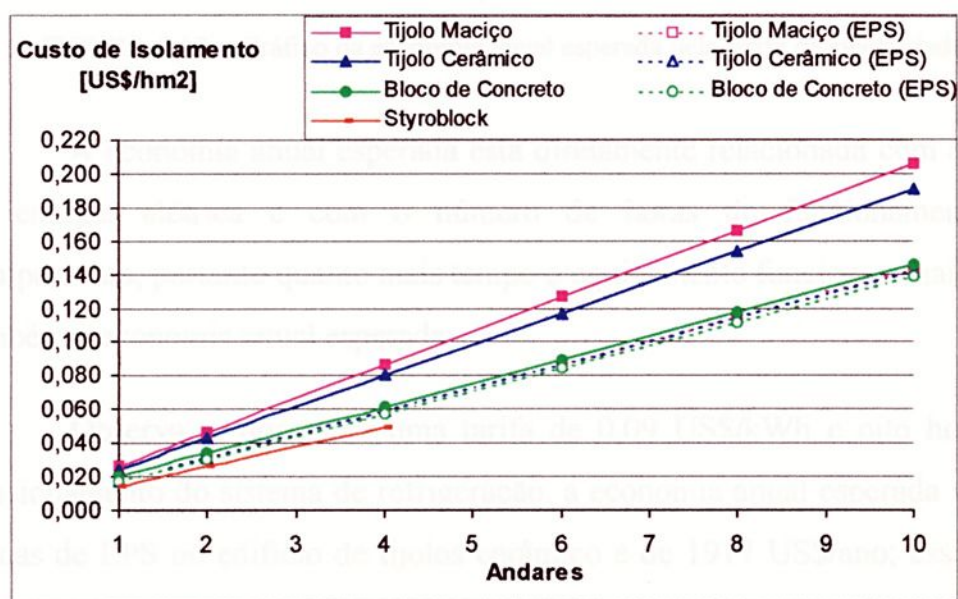


FIGURA 5.18 – Gráfico do custo de isolamento conforme o número de andares

Na Figura 5.19 é mostrado a economia anual esperada em função da tarifa de eletricidade, variando as horas de funcionamento do equipamento de refrigeração. A economia anual esperada é relativa a comparação entre um edifício térreo de tijolos cerâmicos sem isolamento e um com o isolamento das placas de EPS.

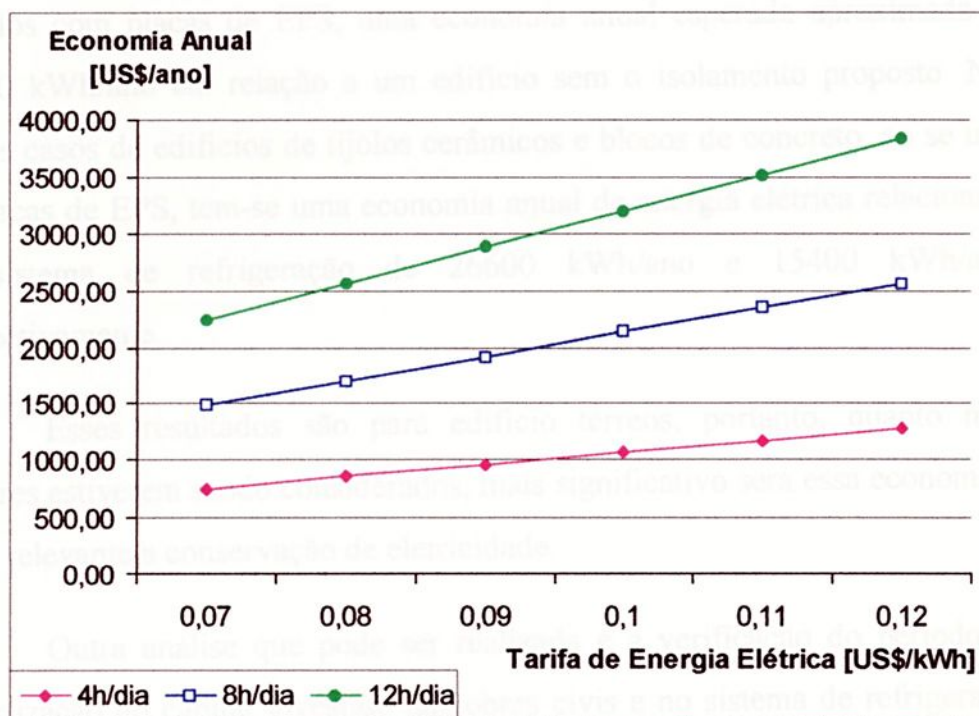


FIGURA 5.19 – Gráfico da economia anual esperada pela tarifa de eletricidade

A economia anual esperada está diretamente relacionada com a tarifa de energia elétrica e com o número de horas de funcionamento do equipamento, portanto quanto mais tempo o equipamento funcionar, maior será também a economia anual esperada.

Observa-se que, para uma tarifa de 0,09 US\$/kWh e oito horas de funcionamento do sistema de refrigeração, a economia anual esperada usando placas de EPS no edifício de tijolos cerâmico é de 1917 US\$/ano; esse valor

representa quase metade dos gastos em eletricidade de um edifício térreo sem o isolamento.

Cabe salientar que a redução da energia elétrica ao se optar pelo isolamento do edifício é muito significativa sob o ponto de vista do uso racional de energia. Tem-se que, em um edifício térreo de tijolos maciços isolados com placas de EPS, uma economia anual esperada aproximada de 30600 kWh/ano em relação a um edifício sem o isolamento proposto. Nos outros casos de edifícios de tijolos cerâmicos e blocos de concreto, ao se usar as placas de EPS, tem-se uma economia anual de energia elétrica relacionada ao sistema de refrigeração de 26600 kWh/ano e 15400 kWh/ano, respectivamente.

Esses resultados são para edifício térreos, portanto, quanto mais andares estiverem sendo considerados, mais significativo será essa economia e mais relevante a conservação de eletricidade.

Outra análise que pode ser realizada é a verificação do período de amortização do capital investido nas obras civis e no sistema de refrigeração desses edifícios estudados. Para essa análise verificou-se o seguinte caso

- Ao se construir um edifício novo qual é o período de amortização do capital investido na obra e no sistema de refrigeração compatível, se for optado pela colocação de placas de EPS em relação a não colocação.

Na Figura 5.20 é mostrado o período de amortização do capital investido conforme o caso citado acima, considerando um pavimento, placas de EPS de 50mm, tarifa de energia elétrica variando de 0,07 a 0,12 US\$/kWh e 8 h/dia de funcionamento do sistema de refrigeração.

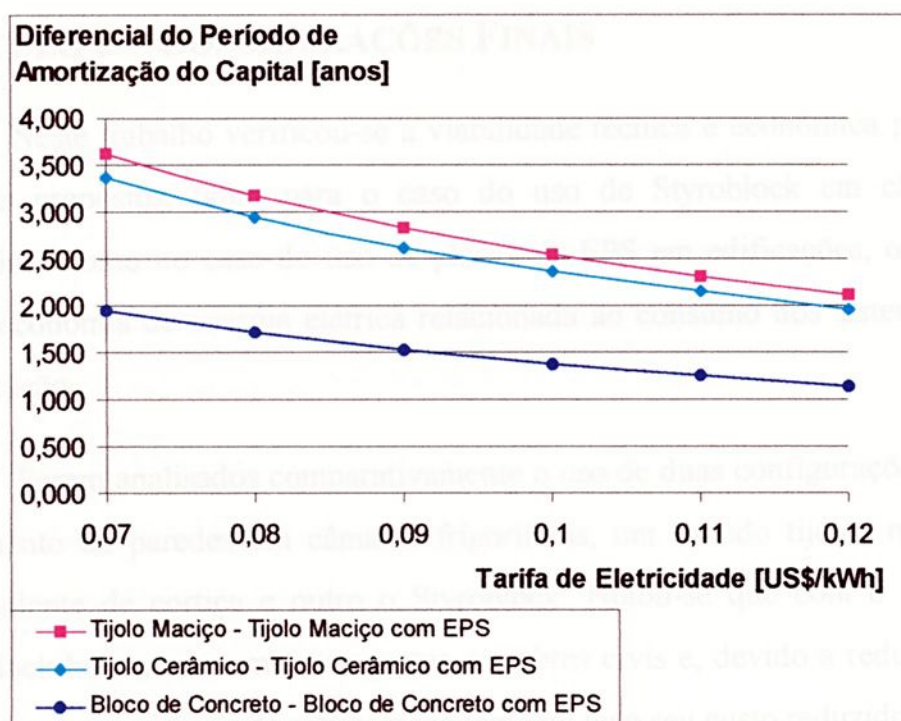


FIGURA 5.20 – Gráfico da diferença do período de amortização do capital investido

Pode-se verificar que compensa investir em alvenaria com EPS mais o ar condicionado compatível a só investir em um prédio convencionalmente construído, isto é, o retorno do capital investido em obras civis e sistema de refrigeração se dará aproximadamente de 2,2 anos a menos para o edifício usando tijolos cerâmicos e placas de EPS comparativamente ao edifício de tijolos cerâmicos sem isolamento (para uma tarifa de eletricidade de 0,09 US\$/kWh). Esse tempo a menos no período de amortização do capital investido se deve a economia que se alcança com os gastos de energia elétrica devido ao menor consumo do sistema de ar condicionado, com evidente redução do custo do equipamento. Isso também ocorre para os edifícios usando tijolos maciços e blocos de concreto. Observou-se para o método construtivo de Styroblock que o período de amortização do capital investido é maior em relação ao caso do uso de tijolos maciços, em aproximadamente 2,5 anos.

Com esses resultados verifica-se que a melhor opção de investimento é a construção planejada com as placas de EPS junto a alvenaria.

## CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho verificou-se a viabilidade técnica e econômica para os sistemas propostos, tanto para o caso do uso de Styroblock em câmaras frigoríficas como no caso do uso de placas de EPS em edificações, onde se obtém economia de energia elétrica relacionada ao consumo dos sistemas de refrigeração.

Foram analisados comparativamente o uso de duas configurações para fechamento de paredes em câmaras frigoríficas, um usando tijolos maciços com isolante de cortiça e outro o Styroblock. Notou-se que com o uso do Styroblock houve economia nos gastos em obras civis e, devido a redução da carga térmica, o sistema de refrigeração também teve seu custo reduzido.

Em relação a análise técnica, constatou-se que o Styroblock é um excelente material para uso alternativo, apresentando grandes vantagens devido ao seu baixo peso específico proporcionando alívio de cargas na estrutura e fundação; aumento de produtividade na obra; são estruturais não precisando de vigas e pilares; gabaritam os prumos e esquadros, obtendo-se assim um baixo nível de desperdício na execução. Além dessas vantagens a ênfase dada é na propriedade de alto isolamento térmico resultando numa conservação de eletricidade na operação do sistema.

A outra análise realizada foi a influência da aplicação de placas de EPS sobre a alvenaria em edifícios comerciais. Verificou-se que com o uso das placas houve economia nos gastos de eletricidade devido a redução da carga térmica e conseqüentemente, ocasionando redução no custo capital do sistema de refrigeração.



Tecnicamente, as placas de EPS também se mostraram eficientes, aumentando consideravelmente o isolamento térmico e reduzindo o consumo de energia elétrica, sem afetar o dimensionamento das estruturas.

Pode-se verificar que é viável investir em materiais que proporcionam economia com energia, como por exemplo as placas de EPS e Styrobloc. Mesmo no caso das aplicação das placas de EPS em edifícios que aumentam o custo da construção.

É importante ressaltar que as reduções em carga térmica através de um melhor isolamento pode ser adaptado a edificações já existentes, trazendo um ganho não só do ponto de vista econômico mas em relação ao conforto térmico proporcionado.

E finalmente, pode-se concluir que o uso do EPS em obras civil é uma tecnologia viável e representa efetivamente uma forma racional de conservação de energia, necessitando de uma maior divulgação no âmbito de suas qualidades.

Para trabalhos futuros sugere-se:

- Estudar outras aplicações relacionadas ao uso do EPS;
- Análises mais profundas incorporando outros parâmetros relevantes;
- Estudo termoeconômico visando a otimização do uso de EPS para a conservação de energia;
- Reciclagem de EPS, entre outras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKUTSU, M., LOPES, D. *Simulação do desempenho térmico de edificações*. São Paulo: IPT, 1989.4p. (IPT/Ded 3u)
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. *ASHRAE - handbook of fundamentals*. New York, USA,1993.
- ARCHITETTURA bioclimática. In: ENERCH, 1983, Roma - Italy
- ACEPE - ASSOCIAÇÃO DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ESPUMAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO. *EPS – Poliestireno Expandido* [on line]. São Paulo: ACEPE, Março 1997 [citado 10 fevereiro 1999]. Disponível na Word Wide Web: <URL:http://www.acepe.pt/EPS>.
- ABRAPEX - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO. *Meio ambiente e reciclagem*. ABRAPEX Notícias, v. 1, n. 1, p. 4, 1996.
- ABRAPEX - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO. *Mercado de EPS continua crescendo*. ABRAPEX Notícias, v. 1, n. 3, p. 4, 1997.
- AZEREDO, H. A. *O edifício até sua cobertura*. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 178p.
- BASF. *Informaciones técnicas: Propiedades – Envejecimiento de los Materiales Expandidos* [CD-ROM]. Ludwigshafen, Alemanha. Outubro 1990. (catálogo n. 49194).
- BASF. *Informaciones técnicas: Propiedades – Resistência Química de los Materiais Expandidos de Styropor* [CD-ROM]. Ludwigshafen, Alemanha. Maio 1992a. (catálogo n. 33684).
- BASF. *Technical information: properties – general* [CD-ROM]. Ludwigshafen, Alemanha. Julho 1992b. (catálogo n. 22246).
- BASF. *Technical information: properties – resistance to aging and long-term performance* [CD-ROM]. Ludwigshafen, Alemanha. Julho 1992c. (catálogo n. 21920).
- BASF. *Technical information: properties – production of styropor* [CD-ROM]. Ludwigshafen, Alemanha. Janeiro 1992d. (catálogo n. 48293).



- BASF. *Technical information. properties – the thermal conductivity of foam plastics* [CD-ROM]. Ludwigshafen, Alemanha. Maio 1992e. (catálogo n. 20480).
- BASF. *Composição de custos para construção de 1,00m<sup>2</sup> de alvenaria*. Comunicação pessoal, 1994.
- BASF. *Informaciones técnicas: Propiedades – Envases y embalajes de Styropor Expandido* [CD-ROM]. Ludwigshafen, Alemanha. Novembro 1995a. (catálogo n. 36699).
- BASF. *Informaciones técnicas: Propiedades – Comportamiento Ignífico de los Materiais Expandidos de EPS* [CD-ROM]. Ludwigshafen, Alemanha. Janeiro 1995b. (catálogo n. 33682).
- BASF. *Styropor – expandable polystyrene: construction with styropor*. Ludwigshafen, Alemanha. [s.d.] (catálogo n. HSR 8601 e).
- BOESIGER, E., GIRSBERGER, H. *Le Corbusier 1910-65*. Barcelona: Gustavo Gili, 1971.
- BOLETIM DE CUSTOS. Rio de Janeiro: Ed. Boletim de Custos, v. 39, n. 488, 1999. 62p.
- CÁLCULO de carga térmica para câmaras frigoríficas. *Oficina do Frio*, ano 4, n. 19, p. 25-9. 1996.
- CARVALHO, B.A. *Técnicas de orientação dos edifícios: insolação, iluminação e ventilação*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1970. 104p.
- CENTRAL EPS - tecnologia e serviços. *Características Exigíveis para o Poliestireno Expandido*. São Paulo: BASF, SHELL, RESINOR E TUPY, [s.d. a]. 2p.
- CENTRAL EPS - tecnologia e serviços. *O uso de EPS na construção civil*. São Paulo: BASF, SHELL, RESINOR E TUPY, [s.d. b]. 12p. (manual técnico, 1-3)
- CENTRAL EPS - tecnologia e serviços. *Concreto leve de EPS*. São Paulo: BASF, SHELL, RESINOR E TUPY, [s.d. c]. 4p. (manual técnico, 4)
- CENTRAL EPS - tecnologia e serviços. *Isolamento térmico de coberturas com EPS*. São Paulo: BASF, SHELL, RESINOR E TUPY, [s.d. d]. 4p. (manual técnico, 5)

- CENTRAL EPS - tecnologia e serviços. *Painéis de EPS na construção*. São Paulo: BASF, SHELL, RESINOR E TUPY, [s.d. e]. 4p. (manual técnico, 6)
- CENTRAL EPS - tecnologia e serviços. *Espuma rígida de EPS como aterro leve na construção de estradas*. São Paulo: BASF, SHELL, RESINOR E TUPY, [s.d. f]. 4p. (manual técnico, 7)
- CONSTRUÇÃO. São Paulo: PINI. v.52, n.2666, 1999. 144p.
- COSTA, E. C. *Física industrial: refrigeração*. Porto Alegre: EMMA – PUC, 1976. v. 2. 175p.
- CREDER, H. *Instalações de ar condicionado*. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1990. 337p.
- DEPARTAMENTO FEDERAL DE SANIDAD. *Separación de los residuos de combustión de los sólidos*. Espanha: Hoja Federal de Sanidad, 1990.
- FRANCA, A.B.M., VIANA, M.F.A., RODRIGUES, M.F. *Estudo comparativo entre laje convencional e lajes com blocos de eps nas modernas construções de concreto armado*. São Paulo: ABRAPEX. 1997. 10p.
- GROTE, Z.V., TRAVASSOS, S.E.P. *Análise comparativa entre materiais empregados na construção de uma câmara frigorífica: o styroblock como uma opção para a conservação de energia elétrica*. Guaratinguetá, 1997. 45p. (Monografia realizada na Faculdade de Engenharia, UNESP, apresentado ao concurso de conservação de energia elétrica em aplicação industrial da WEG).
- GRUPO POLIMEX. *Reciclabilidade y ecologia* [on line]. México: Grupo Polimex, 1997 [citado 25 fevereiro 1999]. Available from Word Wide Web: <UTL:http:// www.polimex.com.mx/reciclado.html >.
- HOLMAN, J.P. *Transferência de calor*. São Paulo: Mc.Graw Hill do Brasil, 1983. 639p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDAR-DIZATION. *Moderate thermal environments: determination of the pmv and ppd indices and specification of the conditions for thermal confort*. ISO 7730. Geneva, 1984.
- LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F.O.R. *Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo: PW, 1997. 188p.

- MASCARO, L.R. *Luz clima e arquitetura*. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1983. 189p.
- NEVES FILHO, L.C. *Resfriamento, congelamento, estocagem de alimentos*. São Paulo: IBF/ABRAVA, 1991.
- NEUFERT, E. *Styropor handbuch*. Wiesbaden: Helder [s.d.]
- REFRIGERAÇÃO industrial: o ciclo de refrigeração. *Oficina do Frio*, v. 5, n. 37, p. 21-3. 1998.
- SILVEIRA, J. L. *Cogeração disseminada para pequenos usuários: estudo de casos para o setor terciário*. Campinas, Julho 1994. 196p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual de Campinas.
- SILVEIRA, J.L, GROTE, Z. V., TRAVASSOS, S.E.P. Análise comparativa entre materiais empregados na construção de uma câmara frigorífica: Styroblock e Alvenaria de tijolos maciços: transferência de calor. In: LATCYM - CONGRESSO LATINOAMERICANO DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y MATERIA, 7, 1998, Salta, Argentina. *anais...* Salta: INIQUI – Instituto de investigaciones para la industria química, 1998. p.476-80.
- TABELA de composição de preços para orçamentos – TPCO. 8. ed. São Paulo: Pini, 1986.
- TRANE - Manual de ar condicionado. La Crosse, Wisconsin: The Trane Company, 1979.



unesp



.1 12 13 14 15 16 17 18