



CARGA TÉRMICA PARA CÂMARAS FRIGORÍFICAS

Prof. Dr. Paulo Renato Perez dos Santos

**- Porto Alegre / RS -
- 2005 -**



CARGA TÉRMICA

1.0 - INTRODUÇÃO

A carga térmica de refrigeração de uma câmara frigorífica pode ser dividida nos seguintes itens:

- produto;
- penetração pelo isolamento;
- diversos (iluminação, motores, pessoas, renovação, desidratação e outras).

O cálculo da carga térmica é feito normalmente considerando o dia com 24 horas. No entanto, os equipamentos devem funcionar um tempo menor, afim de permitir a sua manutenção, operações de degelo e permitir uma reserva de capacidade para sobrecargas momentâneas.

Nestas condições a potência frigorífica instantânea será dada por:

$$P_f = \frac{\text{Carga térmica de refrigeração}}{T} \quad (01)$$

onde,

T é o tempo de funcionamento do sistema ou instalação, que varia de 08 a 20 horas por dia, dependendo do tipo e tamanho da instalação.

2.0 - PRODUTO

A parcela de carga térmica devido ao produto, pode ser constituída pelas seguintes parcelas:

- calor de resfriamento;
- calor de congelamento;
- calor de sub-resfriamento;
- calor vital.

Os três primeiros podem ser englobados na expressão geral:

$$Q_{\text{produto}} = m [C (t_i - t_0) + C_L + C' (t_0 - t_f) + C''] \quad (02)$$

onde,

- m é a massa de produto processada;
- t_i é a temperatura inicial do produto;
- t_0 é a temperatura de congelamento do produto;
- t_f é a temperatura final do produto;
- C_L é calor latente de congelamento do produto;
- C é o calor específico do produto antes do congelamento;
- C' é o calor específico do produto após o congelamento;
- C'' é o calor vital do produto.



Os valores de C , C' , C'' , t_0 e C_L para os principais produtos são apresentados nas tabelas abaixo.

Produto	Calor específico (kcal/kgf °C)		Calor latente de Congelamento	Temperatura de Congelamento
	Resfriado	Congelado	(kcal/kg)	(°C)
Abacaxi	0,90	0,50	71,0	-2,0
Aspargo	0,95	0,44	74,5	-1,22
Banana	0,90	0,36	60,0	-1,0
Batata	0,80	0,42	58,0	-1,71
Couve	0,93	0,47	73,0	0
Carne congelada	0,75	0,40	54,0	-3,0
Carne de porco	0,68	0,38	48,0	-2,0
Chocolate	0,76	-x-	30,0	-x-
Ervilha verde	0,80	0,42	60,0	-x-
Feijão verde	0,92	0,47	71,0	-1,25
Fígado fresco	0,72	0,40	52,25	-x-
Laranja	0,92	0,47	68,0	-2,23
Leite fresco	0,94	0,49	70,0	0
Limão	0,92	-x-	66,0 a 71,0	-2,16
Maçã	0,90	0,49	68,0	-2,0
Manga	0,90	0,46	74,0	0
Manteiga	0,64	0,34	8,0	-18 a -1,0
Melão	0,92	-x-	71,0	-1,6 a -1,9
Ovos em caixa	0,76	0,40	55,0	-3,0
Peixe	0,80	0,41	56,0	-2,0
Pêra	0,92	0,19	67,0	-2,2 a -2,8
Pêssego	0,92	0,48	70,0	-1,45
Queijo	0,64	0,36	43,0	-13
Sorvete	0,78	0,45	26,0	-18 a -3,0
Tomate	0,93	0,46	75,0	-0,90
Uva	0,85	0,45	62,0	-2,0

Tabela 1 - Características e propriedades de alguns produtos.

O calor vital por sua vez resulta do metabolismo dos vegetais, os quais mesmo após a sua colheita continuam com suas reações vitais consumindo O_2 e produzindo CO_2 e vapor d'água (calor sensível e calor latente).

Os calores vitais liberados pelos principais alimentos vegetais estão registrados na tabela abaixo, em função da temperatura de armazenamento.

Parte do calor retirado dos produtos é trocado na forma de calor latente, seja pela evaporação de parte da sua umidade (desidratação), seja pela respiração dos produtos vegetais.

A umidade resultante da respiração é englobada no calor vital.



Quanto à evaporação, esta se faz a custa do calor do próprio produto, não alterando a carga térmica de refrigeração da câmara.

Produto	Temperatura	Calor vital
	(°C)	(kcal/kg 24 h)
Aipo	0	0,740
Alface	0	2,947
Bananas	12	0,859
Batatas	5	0,275 a 0,440
Beterraba	0	0,690
Cebola	0	0,171 a 0,286
Cenoura	0	0,554
Cereja	0	0,330 a 0,440
Feijão	5	0,676
Framboesa	2	1,145 a 1,718
Laranja	0	0,179 a 0,234
Limão	4	0,210
Maçã	0	0,171 a 0,260
Melão	2	0,126
Morango	0	0,710 a 0,989
Pêssegos	0	0,221 a 0,359
Pêras	0	0,171 a 0,229
Pimenta	4	1,224
Tomates	4	0,278
Tomates	16	1,622
Tomates	0	0,265
Uva	2	0,171 a 0,286

Tabela 2 - Calor vital de alguns produtos.

3.0 - EMBALAGEM

A parcela de carga térmica devido a embalagem do produto, pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$Q_{\text{embalagem}} = m_{\text{emb}} C_{\text{emb}} (t_i - t_f) \quad (03)$$

onde,

- m_{emb} é a massa da embalagem;
- t_i é a temperatura inicial da embalagem;
- t_f é a temperatura final da embalagem;
- C_{emb} é o calor específico da embalagem.



Os valores de C_{emb} para os principais produtos são apresentados na tabela abaixo.

Produto	C_{emb} (kcal/kg °C)
Madeira	0,648
Papelão	0,336
Plástico	0,432
Vidro	0,202

Tabela 3 - Calor específico das embalagens.

Para a massa das embalagens deverá ser considerado, em relação a massa do produto a ser processado, o seguinte percentual:

Embalagem	Proporção massa (%)
Madeira	15
Papelão	5
Plástico	10
Vidro	50

Tabela 4 - Massa da embalagem em relação a massa de produto.

4 - ISOLAMENTO

É a parcela da carga térmica que corresponde ao calor transmitido através das paredes, piso e teto das câmaras, definida no cálculo do isolamento, é a seguinte:

$$Q_{\text{isolamento}} = C_T S 24 \quad (04)$$

onde,

- C_T e S , são valores conhecidos e adotados no cálculo do isolamento.

5 - DIVERSOS

A parcela de carga térmica sob o título de diversos engloba equipamentos mecânicos, iluminação, pessoas e outros elementos considerados como fontes geradoras de calor.

5.1 - Motores

Os equipamentos mecânicos são normalmente, os ventiladores com potência média entre 0,5 a 1 CV por cada TR e empilhadeiras com potência média entre 7,5 e 10 CV.

O calor dissipado pelos mesmos pode ser calculado como segue, dependendo da situação:



- motor e carga no interior da câmara;

$$Q_{\text{motor} + \text{carga}} = \frac{P_{\text{CV}} \cdot 632 \tau}{\eta_{\text{motor}}} \quad (05)$$

- carga no interior e motor fora da câmara;

$$Q_{\text{carga}} = P_{\text{CV}} \cdot 632 \tau \quad (06)$$

- motor no interior e carga fora da câmara;

$$Q_{\text{motor}} = \frac{1 - \eta_{\text{motor}}}{\eta_{\text{motor}}} \cdot P_{\text{CV}} \cdot 632 \tau \quad (07)$$

onde,

- τ é o tempo de funcionamento do equipamento;
- 1 CV equivale 632 kcal/h;
- η_{motor} é o rendimento do motor elétrico de acionamento, o qual vale:

P (CV)	η_{motor}
< 0,5	0,6
0,5 a 3	0,68
3 a 20	0,85

Tabela 5 - Rendimento dos motores elétricos.

5.2 - Pessoas

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

$$Q_{\text{pessoas}} = NP \cdot q \cdot \tau \quad (08)$$

onde:

- NP é o número de pessoas;
- τ é o tempo de permanência das pessoas;
- q é o calor liberado por pessoa, o qual varia de acordo com a tabela abaixo.

$t_{\text{câmara}} (^{\circ}\text{C})$	q (kcal/h)
10	180
0	230
-10	280
-20	335

Tabela 6 - Calor gerado por pessoa.



5.3 - Iluminação

A dissipação provocada pela iluminação nos é dada por:

$$Q_{\text{iluminação}} = P_{\text{ref}} S_{\text{piso}} 0,86 \tau \quad (09)$$

onde,

- τ é o tempo de funcionamento da iluminação;
- P_{ref} é a potência de referência de iluminação;
- S_{piso} é área do piso da câmara.

5.4 - Renovação

É a parcela da carga térmica correspondente ao calor do ar de renovação que atinge a câmara através de suas aberturas.

$$Q_{\text{renovação}} = NR V_{\text{câmara}} \Delta h \quad (10)$$

onde,

- NR é o número de renovações de ar;
- $V_{\text{câmara}}$ é o volume da câmara;
- Δh é a diferença de entalpia entre o ar exterior e o da câmara.

O número de renovações, as entalpias e alguns dados meteorológicos são apresentados nas tabelas a seguir.

Cidade	TTS (°C)	TTU (°C)	ϕ (%)
Curitiba	31	24,0	56
Belo Horizonte	31	24,0	56
Brasília	31	24,0	56
Goiânia	31	24,0	56
Florianópolis	32	25,0	56
Fortaleza	32	25,0	56
São Paulo	31	24,5	58
Manaus	34	26,5	58
Natal	32	25,5	60
João Pessoa	32	25,5	60
Maceió	32	25,5	60
Aracaju	32	25,5	60
Vitória	32	25,5	60
Rio de Janeiro	32	25,5	60
Porto Alegre	32	25,5	60
Cuiabá	33	26,0	60
Salvador	31	25,0	62
São Luis	32	26,0	64
Belém	33	26,5	64
Recife	32	26,5	66

Tabela 7 - Características climáticas das capitais brasileiras.



Δh (kcal/m ³)						
T_{ext} (°C)	15	20	25	30	35	40
$T_{câm}$ (°C)	-	-	-	-	-	-
15	0	7	23	43	66	97
10	14	21	38	57	81	112
5	26	34	51	71	95	127
0	38	45	63	84	109	141
-5	48	56	74	94	120	153
-10	58	66	84	106	132	165
-15	68	76	95	116	143	177
-20	77	85	104	127	154	189
-25	87	95	114	137	165	201
-30	97	105	125	148	177	215
-35	106	115	135	159	188	225
-40	117	126	147	171	201	231

Tabela 8 - Diferença de entalpia entre o ar exterior (65%) e o da câmara (85 %).



Volume (m ³)	T _{câm} < 0 °C	T _{câm} > 0 °C
2,5	52	70
3,0	47	63
4,0	40	53
5,0	35	47
7,5	28	38
10,0	24	32
15,0	19	26
20,0	17	22
25,0	15	20
30,0	13	18
40,0	12	15
50,0	10	13
60,0	9	12
80,0	8	10
100,0	7	9
150,0	6	7
200,0	5	6
250,0	4	5
300,0	4	5
400,0	3	4
500,0	3	4
600,0	3	3
800,0	2	3
1000,0	2	2
1500,0	2	2
2000,0	1	2
2500,0	1	2
3000,0	1	1

Tabela 9 - Renovação de ar diária em função do volume das câmaras.