

Instalações Térmicas

3º ano 6º semestre

Aula 30



Aula 30- Carga Térmica

30. Refrigeração - Tópicos

- Introdução
- Calor Sensível
- Calor Latente
- Carga de Condução – Calor sensível
- Carga devida à Insolação – Calor sensível
- Carga devida aos Ductos – Calor sensível
- Carga devida às Pessoas – Calores sensível e latente
- Carga devida aos Equipamentos – Calores sensível e latente
- Carga devida às Tubulações – Calor sensível
- Carga devida à Infiltração – Calores sensível e latente
- Carga Térmica total
- Métodos Rápidos para Avaliação de Carga Térmica de Verão para Pequenos Recintos



30.1 - Introdução



Um sistema de condicionamento de ar tem como função básica a manutenção das condições de conforto para o homem ou condições necessárias para um produto ou processo industrial.

A carga térmica é definida como a quantidade de calor latente e sensível que deve ser retirada de um ambiente, a fim de garantir o conforto térmico dos seus ocupantes ou as condições necessárias para a manutenção de um processo ou produto.

30.1 - Introdução



Para atender às condições térmicas é necessário a instalação de um equipamento com capacidade adequada, determinada pelo pico de carga térmica, ou seja, devem ser calculados os valores máximos do ganho de calor durante o dia para se determinar o maior valor.

É impossível obter o pico real de carga de um recinto devido aos fatores ambientais e da estrutura a ser condicionada. Tal como uma diferença de temperatura interna e externa para o cálculo do ganho de calor, coeficientes e a inércia térmica da estrutura. Sendo assim, os valores de carga térmica costumam ser estimados pelos projetistas.

30.1 - Introdução

Para a estimativa da carga térmica é preciso definir as condições internas e externas ao ambiente. A norma ABNT NBR6401 apresenta recomendações dessas condições para várias localidades do Brasil e de acordo com a finalidade dos ambientes condicionados. O procedimento de cálculo da carga térmica deve considerar alguns aspectos físicos do recinto a ser condicionado. O cálculo fornecerá a potência do equipamento condicionador de ar.



30.1 - Introdução

Primeiros Sistemas

- Aquecimento e Ventilação

Posteriormente

- Resfriamento e Desumidificação

Ar condicionado

Água gelada

Ar + Água gelada

Área Condicionada

- Zona simples;
- Multi-zonas - zonas com diferentes necessidades

Sistemas centrais

Sistemas individuais



30.1 - Introdução

- As variáveis que determinam a carga térmica são numerosas, difíceis de definir precisamente e sempre inter-relacionadas.
- Quatro tipos de fluxo de calor, relacionados, porém distintos, transientes, devem ser definidos:
 - Potência térmica do ambiente;
 - Carga térmica do ambiente;
 - Taxa de remoção de calor do ambiente;
 - Carga térmica do fan-coil/unidade condicionadora, etc.



30.2 - Calor Latente

Todas as substâncias puras da Natureza conseguem alterar o seu estado. Os sólidos podem tornar-se líquidos (como o gelo se torna água) e os líquidos podem transformar-se em gases (como a água se transforma em vapor). Mas estas alterações requerem a adição ou perda de calor. O calor que provoca estas alterações é designado por **calor latente**. O calor que causa a alteração do estado sem alterar a temperatura é designado por **calor latente**.



30.3 - Calor Sensível

Quando um objecto é aquecido, a sua temperatura aumenta à medida que o calor lhe é adicionado. Este aumento de calor é designado de **calor sensível**. Do mesmo modo, quando se retira calor a um objecto e a sua temperatura desce, o calor retirado também é designado por **calor sensível**. O calor que provoca uma mudança de temperatura num objecto é designado por **calor sensível**.



30.4 Carga de Condução – Calor sensível

A expressão geral de transmissão de calor por condução e por hora pode ser expressa para materiais homogéneos paredes planas e paralelas

$$Q_{cond,parede} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (\text{kcal/h}) \quad (30.1)$$

A – área da superfície normal ao fluxo em m²

L - espessura do material em m

k – condutibilidade térmica kcal·m/(h·m²°C)

T₁ e T₂ - temperaturas interna e externa da superfície de espessura L, em °C



30.4 Carga de Condução – Calor sensível

Quando o material não é homogéneo, como por exemplo uma parede construída com tijolos massa e isolamento, a equação toma a seguinte forma:

$$Q_{cond,parede} = CA(T_1 - T_2) \quad (\text{kcal/h}) \quad (30.2)$$

A – área da superfície normal ao fluxo em m^2

L - espessura do material em m

C – condutância $\text{kcal}/(\text{h}\cdot\text{m}^2\text{°C})$

T_1 e T_2 - temperaturas interna e externa da superfície de espessura L, em °C



30.4 Carga de Condução – Calor sensível

Quando a transferência do calor do ar para uma superfície ou vice-versa se processa por meio de convecção e se o fluxo for uniforme, então esta transferência pode ser expressa pela fórmula:

$$Q_{cond,parede} = Ah(T_1 - T_2) \quad (\text{kcal/h}) \quad (30.3)$$

A – área da superfície normal ao fluxo em m²

h – coeficiente de transferência de calor por convecção
kcal/(h·m²°C)

T₁ e T₂ - temperaturas interna e externa da superfície de espessura L, em °C



30.4 Carga de Condução – Calor sensível

Os valores de h dependem da cor e rugosidade da superfície, bem como da velocidade do vento.

Os valores médios de h são:

Ar parado	1,46 a 1,63 BTU/h·ft ² °F	7,13 a 7,96 kcal/(h·m ² °C)
Ar a 12 km/h	4,0 a 1,63 BTU/h·ft ² °F	19,5 kcal/(h·m ² °C)
Ar a 24 km/h	6,0 a 1,63 BTU/h·ft ² °F	29,3 kcal/(h·m ² °C)



Nos cálculos de carga térmica de ar condicionado, usa-se um coeficiente U mais fácil de ser obtido, medindo-se a temperatura do ar em ambos os lados da superfície.

30.4 Carga de Condução – Calor sensível

O coeficiente global de transferência de calor é definido como o fluxo de calor por hora através de um m² de superfície, quando a diferença entre as temperaturas do ar nos dois lados da parede ou teto é de um grau centígrado.

$$Q_{parede} = AU(T_1 - T_2) \quad (\text{kcal/h}) \quad (30.4)$$

A – área da superfície normal ao fluxo em m²

U – coeficiente global de transferência de calor
kcal/(h·m²°C)

T₁ e T₂ - temperaturas interna e externa da superfície de espessura L, em °C



Tabela 30.1 Coeficiente de Transferência de Calor de Materiais de Construção

Material	Condutividade k		Condutância C	
	BTU/(h·ft ² °C)	kcal/(h·m ² °C)	BTU/(h·ft ² °C)	kcal/(h·m ² °C)
1. Acabamentos:				
- cimento asbestos	4,0	0,496		
- gesso ½"			2,25	10,99
- lambris	0,80	0,09		
- lambris de ¾"			1,07	5,22
- fibra de madeira	1,40	0,173		
- cmboço ou reboco (2 cm)	0,49	2,39		
2. Alvenaria				
- lã mineral (vidro ou rocha)	0,27	0,03		
- vermiculite	0,46	0,05		
- concreto simples	5,0	0,62		
- massa de cimento com agregados	1,7	0,21		
- concreto com areia e pedra	12	1,48		
- estuque	5	0,62		
tijolo comum (meia vez)	5,0	0,62		
- tijolo comum (uma vez)	9	1,11		
- tijolo de concreto furado de 10cm	1,4	0,17		
- tijolo de concreto furado de 20 cm	0,9	0,11		
- ladrilho ou cerâmica	0,9	0,11		
- alvenaria de pedra	12,50	1,55		





Tabela 30.1 Coeficiente de Transferência de Calor de Materiais de Construção (continuação)

Material	Condutividade k		Condutância C	
	BTU/(h·ft²°C)	kcal/(h·m²°C)	BTU/(h·ft²°C)	kcal/(h·m²°C)
3. Isolamentos				
- libras de lãs minerais (vidro ou rocha)	0,27	0,03		
- fibra de madeira	0,25	0,03		
Vidro celular	0,39	0,04		
cortiça	0,27	0,03		
- fibra de vidro	0,25	0,03		
Isoflex (Santa Marina)		0,039		
4. Argamassas				
nata de cimento com areia	5,0	0,62		
nata de gesso com areia	5,6	0,69		
agregado com vermiculite	1,7	0,21		
5. Cobertura				
Placa de agregado de asfalto	6,50	0,80		
Teto com 10 cm	3,00	0,37		
6. Madeiras				
De lei (cedro, canela, etc)	1,10	0,13		
Pinho	0,80	0,09		

Tabela 30.2 Coeficiente Global de Transferência de Calor U para janelas e paredes

Elementos	U em Kcal/h·m ² °C
a) Janelas	
- Janelas de vidros comuns (simples)	5,18
- Janelas de vidros duplos	3,13
- Janelas de vidros triplos	1,66
b) Paredes externas	
- Tijolos maciços (20 X 10 X 6 cm):	
meia vez (14 cm) = 10 tijolos + 2 revestimentos	2,88
uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos	1,95
- Tijolos furados (20 X 20 X 10 ou 30 x 30 x 10cm):	
meia vez (14 cm) = 10 tijolos + 2 revestimentos	2,59
uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos	1,90
c) Paredes internas	
- Tijolos maciços (20 X 10 X 6 cm):	
meia vez (14 cm) = 10 tijolos + 2 revestimentos	2,29
meia vez (10 cm) = 6 tijolos + 2 revestimentos	2,68
uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos	1,66
- Tijolos furados (20 X 20 X 10 ou 20 X 10 x 6 cm):	
meia vez (10 cm) = 6 tijolos + 2 revestimentos	2,54
meia vez (14 cm) = 10 tijolos + 2 revestimentos	2,10
uma vez (24 cm) = 20 tijolos + 2 revestimentos	1,61
d) Betão externo ou pedra	
15 cm	3,81
25 cm	3,03
35 cm	2,54
50cm	2,00
e) Betão interno	
10cm	3,17
15cm	2,83
20cm	2,59



Tabela 30.3 Diferencial de Temperatura Usada nos Projectos - DT - Baseada na Diferença de 9,4°C Entre a Temperatura Externa e o Recinto Condicionado

	DT (°C)
1. Paredes exteriores	9,4
2. Vidros nas paredes exteriores	9,4
3. Vidros nas divisórias	5,5
4. Vitrinas de lojas com grande carga de luz	16,6
5. Divisórias	5,5
6. Divisórias junto de cozinha, lavandarias ou aquecedores	13,8
7. Pisos sobre recintos não-condicionados	5,5
8. Pisos do térreo	0
9. Pisos sobre porão	0
10. Pisos sobre porão com cozinha, lavandarias ou aquecedores	19,4
II. Pisos sobre espaços ventilados	9,4
12. Pisos sobre espaços não-ventilados	0
13. Tetos sobre espaços não-condicionados	5,5
14. Tetos sobre espaços com cozinhas, lavandarias e aquecedores	11,1
15. Teto sob telhados com ou sem sótão	9,4



30.5 Carga devida à Insolação – Calor sensível

A mais poderosa energia que a superfície da terra recebe do universo é a energia solar que já está sendo aproveitada pelo homem como fonte térmica. Esta energia é, quase sempre a responsável pela maior parcela da carga térmica nos cálculos de ar condicionado, em geral como radiação e convecção.

Por absorção, a energia de radiação solar pode ser introduzida nos recintos tanto em maior quantidade quanto menos brilhante for a superfície reflectora, assim apresenta-se a seguinte tabela que dá uma ideia do percentual de energia radiante em função da cor:



30.5 Carga devida à Insolação – Calor sensível

	Calor reflectido	Calor absorvido
Alumínio polido	72%	28%
Vermelho-claro	37%	63%
Preto	6%	94%

É evidente que este percentual é também uma função da rugosidade da superfície. Assim a temperatura dos tetos e paredes dependem de vários factores:



30.5 Carga devida à Insolação – Calor sensível

Os factores que influenciam a temperatura das paredes e tetos são:

- Coordenadas geográficas do local;
- Inclinação dos raios do sol (dependendo da época do ano e da hora consideradas);
- Tipo de construção;
- Cor e rugosidade da superfície;
- Reflectância da superfície.

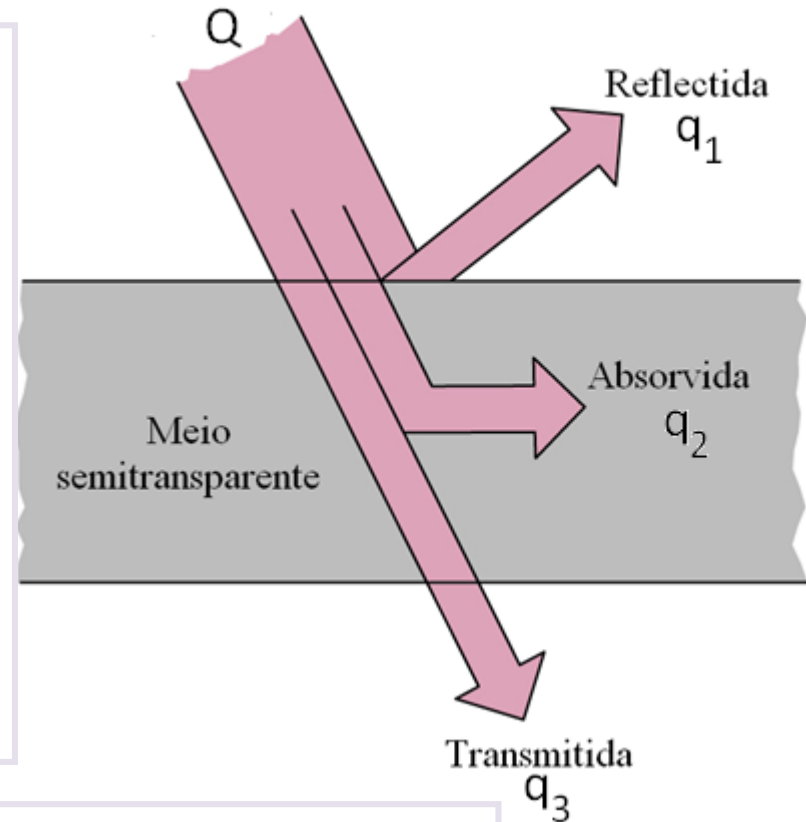
Para a estimativa da carga térmica, será importante saber o horário de utilização do edifício e fazer o cálculo para a incidência máxima do sol.



30.5.1 Transmissão de calor do sol através de superfícies transparentes (vidro)

A energia radiante oriunda do sol incidente numa superfície transparente subdivide-se em três partes:

- Uma que é reflectida (q_1)
- Uma absorvida pelo vidro (q_2)
- Uma que atravessa o vidro (q_3)



A parcela q_3 que penetra no recinto é a que vai interessar nos cálculos da carga térmica.

30.5.1 Transmissão de calor do sol através de superfícies transparentes (vidro)

Na Tabela apresentam-se valores do factor solar obtido por ensaios para a parcela q_3 em kcal/h por m^2 de área do vidro, ou W/m^2 , supondo-se a janela sem protecção; caso seja protegida por toldos ou persianas, deve-se multiplicar os valores obtidos, pelos seguintes coeficientes de redução:

Toldos ou persianas externas	0,15 – 0,20
Persianas internas e reflectoras	0,50 – 0,66
Cortinas internas brancas (opacas)	0,25 – 0,61

Esta tabela é para esquadrias de madeira, tratando-se de esquadrias metálicas multiplica-se por 1,15.



30.5.2 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 fórmula:

$$Q_{parede} = AU \left[(t_e - t_i) + \Delta t \right] \quad (\text{kcal/h}) \quad (30.5)$$

Onde:

A – área da superfície normal ao fluxo em m²

U – coeficiente global de transferência de calor kcal/(h·m²·°C)

t_i e t_e - temperaturas interna e externa da superfície de espessura L em °C

Δt – acréscimo ao diferencial de temperatura dado na Tabela 30.4



30.5.2 Transmissão de calor do sol através de superfícies opacas

Tabela 30.4 Acréscimo ao Diferencial de Temperatura - Δt em °F e em °C

Superfície	Cor Escura		Cor Média		Cor Clara	
	°F	°C	°F	°C	°F	°C
Telhado	45	25	30	16,6	15	8,3
Parede E ou W	30	16,6	20	11,1	10	5,5
Parede N	15	8,3	10	5,5	5	2,7
Parede S	0	0	0	0	0	0



30.6 Carga devida aos Ductos – Calor sensível

O ar insuflado num recinto condicionado retorna ao condicionador por meio da diferença de pressão que lhe é fornecida pelo ventilador. O retorno do ar pode ser feito de duas maneiras:

1. Sob forma de plenum, ou seja utilizando um ambiente como o próprio recinto, um corredor, o teto rebaixado etc. como se fosse um condutor de ar;
2. Utilizando ductos de retorno.

Em ambos os casos é adicionado calor ao ar de retorno, calor este que deve ser retirado pelas serpentinas do evaporador.



30.6 Carga devida aos Ductos – Calor sensível

Normalmente, o projectista de uma instalação de ar condicionado se vê num impasse: como determinar a carga térmica devida aos ductos se estes ainda não foram calculados? Para calcular os ductos precisa-se de saber a quantidade de ar a ser insuflado no recinto e esta quantidade de ar depende da carga térmica.

O caminho mais prático para resolver o impasse é estimar-se o traçado e as dimensões dos ductos e assim que se chegar à quantidade de ar a ser insuflado no recinto e tendo-se calculado o sistema de ductos faz-se uma verificação para se constatar se a estimativa da carga térmica devida aos ductos foi adequada. Se estiver dentro da margem de 10% de erro não há necessidade de se recalcularem a carga térmica.



30.6 Carga devida aos Ductos – Calor sensível

A carga térmica devida aos ductos é dada por:

$$Q_{ducto} = AU (t_e - t_i) \quad (\text{kcal/h}) \quad (30.6)$$

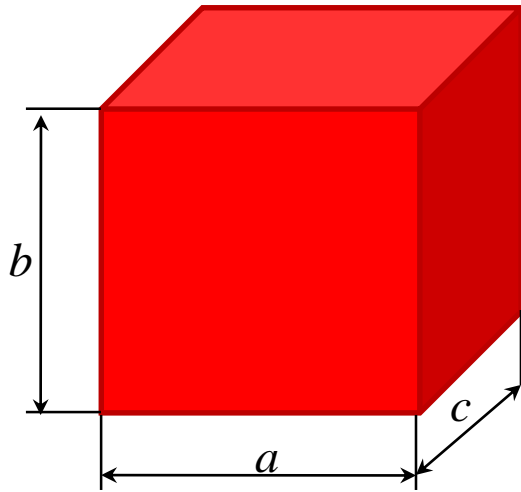
A – área lateral do ducto exposta ao calor em m^2

U – coeficiente global de transferência de calor
 $\text{kcal}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ dado na Tabela 30.5

t_i e t_e - temperaturas interna e externa do ducto $^\circ\text{C}$



30.6 Carga devida aos Ductos – Calor sensível



$$A = 2bc + 2ac = 2c(a+b)$$

Se o ducto ficar apoiado na parede ou laje:

$$A = c(a+2b)$$

Tabela 30.5 Coeficiente Global U de transferência de calor para Ductos

Tipo de Ducto	BTU/(h·ft ² °F)	kcal/(h·m ² °C)
Chapa metálica não isolada	1,18	5,76
Isolada com ½ polegada	0,38	1,86
Isolada com 1 polegada	0,22	1,07
Isolada com 1 ½ polegada	0,15	0,73
Isolada com 2 polegadas	0,12	0,59



30.7 Carga devida às Pessoas – Calores sensível e latente

A humidade do ar é vapor super-aquecido então aumentar a humidade é aumentar a carga de calor latente.

A mistura de ar e vapor do recinto é conduzida ao evaporador, aí se dá a queda da entalpia e consequentemente a diminuição do calor sensível e condensação da parte do vapor com a queda da humidade, o ar volta ao recinto resfriado e desumidificado.

O ganho do calor latente pode ser expresso em termos do peso da humidade.



30.7 Carga devida às Pessoas – Calores sensível e latente

O valor médio do calor latente de vaporização para o vapor superaquecido no ar é de 1050 BTU por libra ou 583 kcal/h por kg de vapor condensado. Assim se desejar-se saber que quantidade de calor latente deve ser retirada do ar que passa pelo evaporador para que haja condensação, basta multiplicar o peso do ar por este factor.

Todo o ser humano emite calores sensível e latente que variam segundo o indivíduo esteja em repouso ou actividade.

Considerando-se a temperatura média do ser humano 37°C , verifica-se que quanto maior é a temperatura externa, maior é a quantidade de calor latente emitida e quanto menor é esta temperatura maior é o calor sensível.



30.7 Carga devida às Pessoas – Calores sensível e latente

Tabela 30.6 Calor Libertado pelas Pessoas

Temperatura ambiente		Pessoa Sentada ou em Movimento Lento						Pessoa em Exercício Físico Moderado					
		Calor Sensível		Calor Latente		Calor Total		Calor Latente		Calor Sensível		Calor Total	
°C	°F	Kcal/h	BTU/h	Kcal/h	BTU/h	Kcal/h	BTU/h	Kcal/h	BTU/h	Kcal/h	BTU/h	Kcal/h	BTU/h
29	84,2	45,1	179	54,9	218	100	397	38,1	151	128	508	166,1	659
28	82,4	50,2	199	50,2	199	100	397	45,1	179	121	480	166,2	659
27	80,6	54,9	218	45,1	179	100	397	51,9	206	144,1	572	166,3	659
26	78,8	58	230	42,1	167	100	397	58	230	108,1	429	166,4	659
25	77,0	62	246	38,1	151	100	397	64	254	101,8	404	166,5	659
24	75,2	66	262	34	135	100	397	72,1	286	94	373	166,6	659
23	73,4	69,1	274	31	123	100	397	77,1	306	89	353	166,7	659
22	71,6	72,1	286	28	111	100	397	82,2	326	83,9	333	166,8	659
21	69,8	75,1	298	24,9	99	100	397	88	349	78,1	310	166,9	659



30.8 Carga devida aos Equipamentos – Calores sensível e latente

Os motores eléctricos, quer estejam dentro do recinto, em qualquer ponto do fluxo de ar ou mesmo nos ventiladores, adicionam carga térmica ao sistema devido a perda nos enrolamentos, e esta carga precisa de ser retirada pelo equipamento frigogénio. É preciso levar em conta se o motor está sempre a funcionar ou se a sua utilização é esporádica

Para ventiladores dentro da corrente de ar:

$$q = \frac{P}{\eta} \times 2400 \text{ [BTU/h]} \quad (30.7)$$

Onde:

P – é a potência do motor eléctrico HP

η – é o rendimento do motor



30.8 Carga devida aos Equipamentos – Calores sensível e latente

Ou em W

$$q = \frac{P}{\eta} \times 733 \text{ [W]} \quad (30.8)$$

Onde:

P – é a potência do motor eléctrico cv

η – é o rendimento do motor

Para ventiladores fora da corrente de ar:

$$q = P \times 2400 \text{ [BTU/h]} \quad (30.9)$$

Onde:

P – é a potência do motor eléctrico HP

η – é o rendimento do motor



30.8 Carga devida aos Equipamentos – Calores sensível e latente

Ou em W

$$q = P \times 733 \text{ [W]} \quad (30.10)$$

Onde:

P – é a potência do motor eléctrico cv

η – é o rendimento do motor

Tabela 30.7 Ganho de Calor em Watts por HP para Motores Eléctricos

Potência HP	Rendimento Aproximado %	Ganho de Calor W/HP
Até ¼	60	1231
½ - 1	70	1055
1½ - 5	80	938
7,5 - 20	85	879
Maior que 20	88	850





30.9 Carga devida a Iluminação – Calor e sensível

Iluminação Incandescente

q = total de Watts, em unidades SI

q = Watts x 4,4 quando q é dado em BTU/h

Iluminação Fluorescente

q = total de Watts x factor devido ao reactor

Para se ter a carga térmica em kcal/h usa-se a relação $1 \text{ kw}\cdot\text{h}=860 \text{ kcal}$.

A iluminação fluorescente necessita de um equipamento adicional para prover a tensão necessária à partida e após esta a limitação de corrente. Este equipamento é o balastro que adiciona cerca de 20% de carga. Quando na instalação só se dispõe de reactores duplos e de alto factor de potência, pode-se reduzir essa carga adicional.

30.10 Carga devida aos Equipamentos a Gás – Calores sensível e latente

Em locais como cozinhas, laboratórios, restaurantes, cafés etc. podem haver equipamentos de gás, cuja queima pode adicionar à carga térmica do recinto mais duas parcelas: calor devido a queima directa do gás e devido ao calor formado.

Para aparelhos não constantes nas tabelas devem ser consultados os dados dos fabricantes, na ausência destes pode-se tomar como base:

- O gás natural liberta na queima aproximadamente 35 000 BTU por metro cúbico (8 820 kcal/m³);
- O GPL liberta na queima aproximadamente 70 000 BTU por metro cúbico (17 641 kcal/m³);
- Um queimador de gás de 5 cm consome cerca de 0,30 m³ de gás por hora; um queimador de 10 cm consome cerca de 0,45 m³ de gás por hora.





Tabela 30.8 Ganho de Calor devido ao Gás

Aparelho	Máxima carga provável		Carga Estimada (sem Coifa)				Carga Estimada (com Coifa) Só sensível	
			Sensível		Latente			
	BTU/h	Kcal/h	BTU/h	Kcal/h	BTU/h	Kcal/h	BTU/h	Kcal/h
Máquina de café (por queimador)	5500	1386	1750	441	750	189	500	126
Máquina de café (capac. 12 litros)	5000	1260	3500	882	1500	378	1000	252
Máquina de café (capac. 20 litros)	7500	1890	5250	1.323	2250	567	1500	378
Aquecedor de alimentos (banho-maria) (por 0,1m ²)	700	176	560	141	140	35	140	35
Fritadeira (capac. 7 Kg)	15000	3.780	7500	1890	7500	1890	3000	756
Fritadeira (capac. 15 Kg)	32250	8 127					6500	1 638
Fogão (por queimador)	5000	1260	3.200	806	1800	453	1000	252
Torradeira (capac. 360 fatias/h)	6000	1512	3600	907	2400	604	1 200	302

30.11 Carga devida às Tubulações – Calor sensível

Em alguns casos, embora raros, provavelmente em instalações industriais, um recinto a ser condicionado pode ser atravessado por tubulações de água quente ou vapor, o que introduz mais uma parcela no cálculo da carga térmica.



30.12 Carga devida à Infiltração – Calores sensível e latente

O movimento do ar exterior ao recinto possibilita a sua penetração através de frestas nas portas, janelas ou outras aberturas. Tal penetração adiciona carga térmica sensível ou latente. Embora essa carga não possa ser calculada com precisão, há dois métodos que permitem a sua estimativa: o método de troca de ar e o método das frestas.

Método da troca de ar

Neste método supõe-se a troca de ar por hora dos recintos de acordo com o número de janelas com base na tabela.



30.12 Carga devida à Infiltração – Calores sensível e latente

Tabela 30.9 Trocas de ar por hora nos recintos

Janelas Existentes	Trocas por Hora
Nenhuma janela ou porta para o exterior	$\frac{3}{4}$
Janelas ou portas em 1 parede	1
Janelas ou portas em 2 paredes	1 $\frac{1}{2}$
Janelas ou portas em 3 ou 4 paredes	2
Lojas	2

Troca de ar significa renovar todo o ar contido no ambiente por hora . Com isso tem-se o calor do ar exterior aumentando o do recinto. Se num quarto tem-se por exemplo três paredes com janelas em contacto com o exterior o calor devido à infiltração é calculado na base de duas trocas por hora.



30.12 Carga devida à Infiltração – Calores sensível e latente

O calor sensível para ar obtém-se de:

$$q_s = m \cdot c (t' - t) \quad [\text{BTU/h}] \quad (30.11)$$

Onde:

m – libras/hora de ar

c – calor específico do ar BTU/lb⁰F

t' e t – temperatura em ⁰F do ar nos dois locais considerados

Para se poder usar a vazão do ar Q em CFM, ao invés do peso em libras tem de se considerar.

$$m = \frac{60}{13,34} \cdot Q = 4,5Q \quad (30.12)$$

Onde:

13,34 pés cúbicos é o volume ocupado 1 libra de ar nas condições normais



30.12 Carga devida à Infiltração – Calores sensível e latente

Como o calor específico do ar é 0,24, tem-se:

$$q_s = 4,5 \cdot 0,24 \cdot Q(t_e - t_i) \quad [\text{BTU/h}] \quad (30.13)$$

$$q_s = 1,08Q(t_e - t_i) \quad [\text{BTU/h}] \quad (30.14)$$

Onde:

Q – fluxo de ar em pés cúbicos por minuto

t_e – temperatura do ar exterior em °F

t_i – temperatura do ar interior em °F



30.12 Carga devida à Infiltração – Calores sensível e latente

Em unidades do sistema internacional tem-se:

$$q_s = 0,29 \cdot Q(t_e - t_i) \quad [\text{kcal/h}] \quad (30.15)$$

Onde:

Q – fluxo de ar em metros cúbicos por hora

t_e – temperatura do ar exterior em °C

t_i – temperatura do ar interior em °C



30.12 Carga devida à Infiltração – Calores sensível e latente

Método das frestas

A penetração do ar exterior no interior do recinto depende da velocidade do vento. Estudos laboratoriais consignados na tabela multiplicados pelo comprimento linear da fresta dão a quantidade de calor que penetra no recinto.

Quando no recinto a pressão do ar é superior à do ar exterior, não há penetração do ar de fora, podendo esta parcela ser desprezada.

Tabela 30.10 Infiltração de ar

Ar Pelas Portas Abertas

Porta de 90 cm - 1 350 m³/h

Porta de 180cm - 2 000 m³/h

Para contrabalançar a infiltração com tomada de ar nos condicionadores

Porta de 90cm - 1 750 m³/h

Porta de 180 cm - 2450 m³/h



Tabela 30.10 Infiltração de ar (Continuação)

Ar pelas frestas		
Tipo de Abertura	Observação	m ³ /hora por metro de fresta
Janela		
- comum		3
- basculante		3
- guilhotina c/ caixilho de madeira	Mal-ajustada	6
	Bem-ajustada	2
- guilhotina c/ caixilho metálico	Sem vedação	4
	Com vedação	1
Porta		
	Mal ajustada	13
	Bem ajustada	6
Ar pelas portas		
Local	m ³ /h por pessoa presente no recinto condicionado	
	Porta Giratória (1,80 m)	Porta de vai e vem (0,90 m)
Bancos	11	14
Barbearias	7	9
Drogarias e farmácias	10	12
Escritórios de corretagem	9	9
Escritórios privados	-	4
Escritórios em geral	-	7
Lojas de cigarros	32	51
Lojas em geral	12	14
Quartos de hospitais		7
Restaurantes	3	4
Salas de chá ou café	7	9



30.13 Carga Térmica total

Conhecida a carga térmica devia a condução, insolação, ductos, pessoas equipamentos infiltração e ventilação e adicionando-os temos o somatório do calor sensível e calor latente a retirar (ou introduzir) do recinto para obter as condições de conforto desejadas. Somando a ambos os termos o calor total.

Como medida de segurança, para atender às penetrações eventuais de calor no recinto , acrescenta-se mais 10% aos cálculos.

Normalmente deseja-se o resultado em toneladas de refrigeração, por isso divide-se por 12 000 o total BTU/h por 3,52 o total de kW ou por 3 024 kcal/h o total de kcal/h.



30.14 Métodos Rápidos para Avaliação de Carga Térmica de Verão para Pequenos Recintos

Unidades compactas (Self – contained)

Baseados em publicações americanas, apresenta-se a sequência para avaliação rápida de carga térmica. Os factores multiplicativos foram obtidos por ensaios e permitem uma avaliação com precisão aceitável em instalações menos exigentes. Na primeira coluna tem-se as fontes de ganho de calor; na segunda a área em metros quadrados e em pés quadrados; na terceira coluna os factores de acordo com a Tabela 30.11; na quarta coluna tem-se as cargas térmicas parciais em BTU/h.





30.14 Métodos Rápidos para Avaliação de Carga Térmica de Verão para Pequenos Recintos

Queremos calcular pelo método rápido, a carga térmica de um recinto com as seguintes características:

Escritório comercial com as dimensões de 20x15 m, com funcionamento normal das 12 às 18 h, situado no último andar de um edifício. As salas vizinhas não são condicionadas.

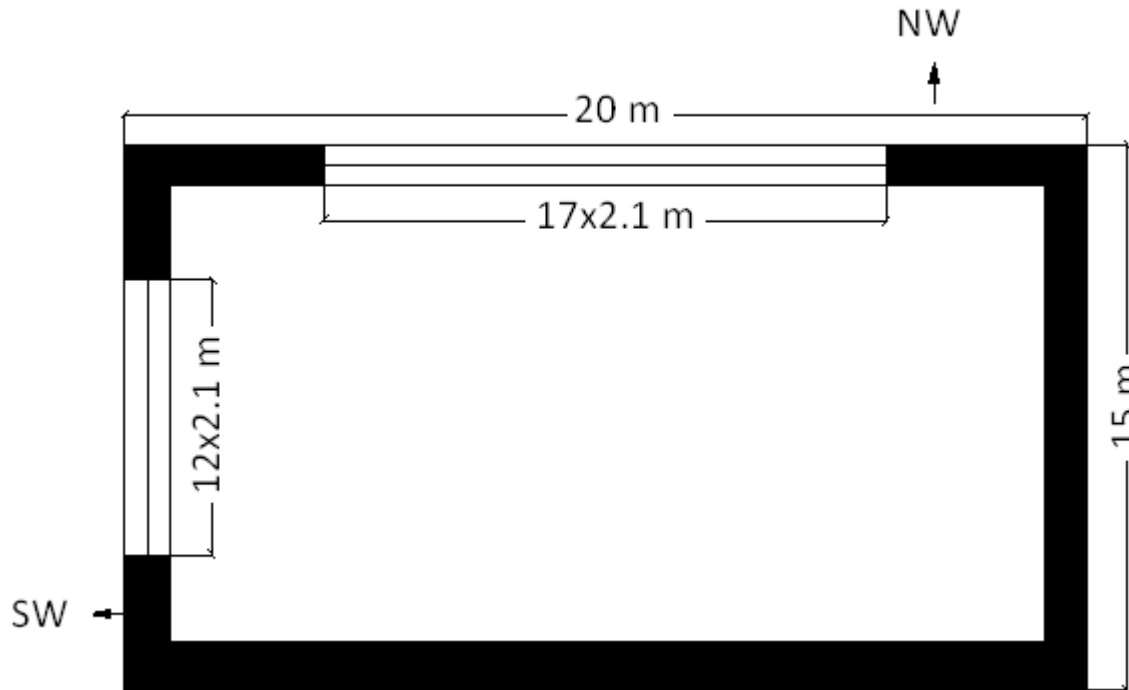
A parede externa de 20 m está voltada para NW, possui uma janela de vidro com cortina colorida, com as dimensões de 17x2.1 m. a parede externa de 15 m está voltada para SW e possui uma janela de vidro de 12x2.1 m. as demais janelas são externas; pé direito = 3 m, alvenaria média. Na sala existem 20 lâmpadas incandescentes de 200 W cada e diversas máquinas de escrever eléctricas totalizando 2 Hp; é ocupado por 15 pessoas em movimento e 25 pessoas sentadas.

30.14 Métodos Rápidos para Avaliação de Carga Térmica de Verão para Pequenos Recintos

Bulbo Seco (BS)=32 °C

Bulbo Húmido (BU) = 27 °C do ar exterior .

O uso de fumo é leve.



30.14 Métodos Rápidos para Avaliação de Carga Térmica de Verão para Pequenos Recintos

Solução:

Vamos considerar somente a parede de 20 m voltada para o sol.

Preenchendo a folha de estimativa rápida para unidades de *self-containers*, temos:

- A – ganho por condução (item 5) - total 58088 BTU/h
- B – ganho devido ao sol (item 6) – 36480 BTU/h
- C – ganho devido as pessoas: sentada = 400 BTU/h; em movimento = 660 BTU/h (item 9) – total – 19900 BTU/h
- D – ganho devido à luz e a aparelhos eléctricos (item 10) - 13600 BTU/h
- E – Outras fontes (item 11) - 5600 BTU/h
- F – Ventilação ou infiltração: ventilação $40 \times 15 = 600$ CFM (fumo leve). Filtração:

$$CFM = \frac{65,60 \times 49,2 \times 10 \times 1,5}{60} = 807$$



30.14 Métodos Rápidos para Avaliação de Carga Térmica de Verão para Pequenos Recintos

Usaremos o maior, ou seja 807x multiplicador ou 807x49.
(item 12) – total 39543 BTU/h

-G – Carga térmica total

-Item 5+6+9+10+12 = 173211 BTU/h = $173211/12000 = 14,4$ TR



30.14 Métodos Rápidos para Avaliação de Carga Térmica de Verão para Pequenos Recintos

Tabela 30.11 Quadro de estimativas rápidas de carga térmica

A. Ganho por condução	ÁREA		Factor A	BTU/h
	m ²	Sq.ft		
1. Janelas na sombra	25,2	171	12	3252
2. Paredes e divisórias (excluir as janelas)	149,2	1604	4	6416
3. Piso	300	3228	3	9684
4. Tetos	300	3228	12	38736
5. Total do item A				58088
B. Ganho devido ao sol			Factor B	
6. Janelas expostas ao sol	35,7	384	95	36480
C. Ganho devido as pessoas	Nº de pessoas		Factor	
7. Pessoas sentadas ou em movimento lento	25		400	10000
8. Pessoas trabalhando ou dançando	15		660	9900
9. Total do item C				19900
D. Ganho devido à luz e a aparelhos eléctricos			Factor	BTU/h
10. Total de watts		4000	3,4	13600
E. Outras fontes			Factor E	
11. Total de item D		2	2800	5600
F. Ventilação ou infiltração			Factor F	Factor G
12. Total do item F		807	49	39543
G. Carga térmica total (5+6+9+10+12+12)				173211



30.14 Métodos Rápidos para Avaliação de Carga Térmica de Verão para Pequenos Recintos

Tabela 30.12 Factores para o cálculo da carga térmica.

Factores A - Condução

Temperatura BS externa	32 °C	35 °C
Janelas na sombra	12	17
Paredes – alvenaria pesada	3	5
Paredes – alvenaria média	4	5
Paredes	2	3
Paredes – revestimento médio	4	5
Divisórias - revestimento simples	7	10
Divisórias – revestimento duplo	4	5
Divisórias de vidro	14	17
Tijolo de vidro	5	8
Piso	3	4
Tecto sob recinto não ventilado	12	13
Tecto sob recinto ventilado	9	11
Tecto sob telhado	14	16
Tecto sob piso ocupado	3	5

OBS. Se o tecto tiver isolamento de 1” multiplicar por 0,4; se tiver 2” por 0,3 e se tiver 4” multiplicar por 0,2



30.14 Métodos Rápidos para Avaliação de Carga Térmica de Verão para Pequenos Recintos

Tabela 30.13 Factores para o cálculo da carga térmica.

Factores B – ganho devido ao sol

Janela voltada para	SE	E	NE	N	NW	W	SW
Vidro simples e duplo sem protecção	110	180	160	105	160	180	110
Veneziana com toldo	30	50	45	30	45	50	30
Cortina colorida ou veneziana interna	65	110	95	60	95	110	65
Tijolo de vidro sem protecção	44	72	64	42	64	72	44

Salões de beleza – n° de aparelhos x 20 2000.

Motores eléctricos – total de HP x 2800.

Bicos de gás – n° x 6000.

Máquinas de café – n° x 900.

Cafeteiras industriais – capacidade m galões x 1400.

Banho – maria (gás) – sq.ft x 1300.

Outras fontes específicas – BTUTh.



30.14 Métodos Rápidos para Avaliação de Carga Térmica de Verão para Pequenos Recintos

Tabela de factores para o cálculo da carga térmica.

Factores F – ventilação ou infiltração

Calcular as exigências da ventilação – infiltração e usar o maior CFM

Ventilação

Nº de ocupantes x 7,5 = CFM (sem fumo).

Nº de ocupantes x 15 = CFM (fumo leve).

Nº de ocupantes x 40 = CFM (fumo pesado).

Infiltração $CFM = \frac{\text{comp.} \times \text{larg.} \times \text{altura} \times l}{60}$

Obs. Dimensões em pé:

l = 1 (uma parede externa)

l = 1,5 (duas paredes externa)

l = 2 (três ou mais paredes externas)



30.14 Métodos Rápidos para Avaliação de Carga Térmica de Verão para Pequenos Recintos

Tabela 30.14 Factores para o cálculo da carga térmica.

Factores G – multiplicador da infiltração ou ventilação para várias temperaturas de bulbo húmido.

Temp. BU	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Factor	3	5	8	11	14	17	20	23	27	30	33	37	41	45	49

