

5 CARGA TÉRMICA EM CLIMATIZAÇÃO

A carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente, que deve ser retirada (resfriamento) ou colocada (aquecimento) no recinto a fim de proporcionar as condições de conforto desejada ou manter as condições ambientes adequadas para a conservação de um produto ou para realização de um processo de fabricação.

O conhecimento da carga térmica é básico para:

- dimensionar a instalação;
- selecionar equipamentos;
- avaliar o funcionamento de equipamentos existentes ou a serem adquiridos;
- avaliar as alterações necessárias ao sistema que beneficia ambientes, cuja finalidade venha ser alterada.

5.1 CARGA TÉRMICA DE RESFRIAMENTO

A carga térmica, normalmente, varia com o tempo, pois os fatores que nela influem: temperatura externa, insolação, número de pessoas, etc., variam ao longo do dia.

O ganho de calor que é transmitido para o ambiente é devido aos seguintes fatores:

- radiação solar através de superfícies transparentes tais como vidros das janelas;
- condução de calor através das paredes externas e telhados;
- condução de calor através das paredes internas, divisórias, tetos e pisos;
- calor gerado dentro do ambiente pelos ocupantes, luzes, equipamentos, desenvolvimento de processos ou qualquer outra fonte geradora de calor;
- calor proveniente da ventilação (ar exterior) e infiltração de ar exterior;
- calor gerado por outras fontes.

Os tipos de ganho de calor são sensível e latente. A seleção correta do equipamento para umidificação ou desumidificação e resfriamento é feita levando-se em consideração os valores de calor sensível e latente.

O ganho de calor sensível é o ganho de calor de um determinado ambiente devido a transmissão por radiação, condução ou convecção, ou devido ainda a estas formas simultaneamente.

Quando a umidade é adicionada ao ambiente, como por exemplo, pelo vapor d'água liberado pelas pessoas, há uma quantidade de energia associada com esta umidade, que precisa ser considerada.

Neste caso se a umidade precisa ser mantida constante no ambiente, então o vapor d'água que precisa ser condensado no equipamento é igual ao valor que é produzido no ambiente. A quantidade de energia necessária para fazer isto é essencialmente igual ao produto da taxa de condensação por hora e o calor latente de condensação. Este produto é chamado ganho de calor latente.

A carga de calor sensível de resfriamento é definida como a quantidade de calor que precisa ser removida do ambiente para que a temperatura do recinto seja constante.

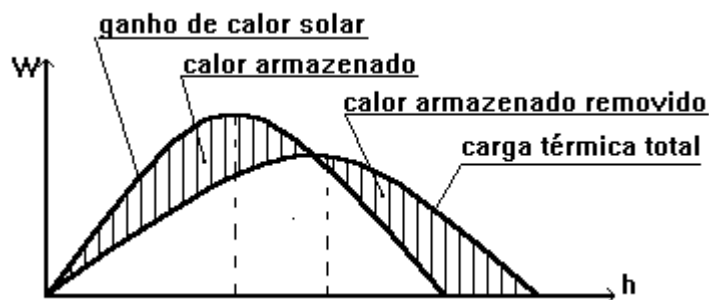
O projeto do sistema de ar condicionado requer a determinação do ganho de calor sensível e latente do ambiente e o ganho de calor total, sensível mais latente e do ar exterior usado para ventilação (renovação de ar).

A soma de todos os ganhos de calor sensível instantâneo, em um determinado momento não é necessariamente igual a carga de calor sensível de resfriamento do ambiente para aquele momento.

A carga latente, a ser considerada, entretanto, é essencialmente a carga latente instantânea de resfriamento. Há que distinguir, o ganho de calor instantâneo e o ganho de calor da estrutura (fig. 38), ou seja, quando o sol começa a incidir sobre uma parede, não quer dizer que a quantidade de calor ganho pelo ar da sala aumenta imediatamente; para o efeito da insolação se tornar carga do calor do ar, é necessário que, primeiramente, a parede se aqueça. Isto leva um certo tempo, dependendo das dimensões e composição da parede. Já, por exemplo, o calor transmitido por uma pessoa dentro do recinto, para o ar é uma carga, praticamente instantânea. Levanta imediatamente a temperatura do ar e a sua umidade.

Para a energia radiante se transformar em carga sensível do ar, tem antes que ser absorvida por uma superfície sólida, que depois cede ao ar por convecção.

FIGURA 38 - CARGA TÉRMICA NA ESTRUTURA DA EDIFICAÇÃO



A determinação da vazão de ar de insuflamento será função do tipo de sistema a ser usado.

O projeto do sistema quando prevê volume de ar variável (VAV) sua vazão de ar total corresponde a carga térmica máxima simultânea, embora esse valor seja inferior a soma das vazões de ar necessárias para cada ambiente nas horas de pico dos mesmos.

A utilização do sistema de volume de ar constante, determina que a vazão de ar total, seja a soma das vazões de ar determinadas a partir das horas de pico de cada ambiente.

Este sistema é de alto custo, embora seja largamente empregado no Brasil.

Após a estimativa da hora e mês do pico solar de cada ambiente e zonas, deverá ser determinado o maior ganho de calor simultâneo de todo o sistema.

A determinação da carga térmica de pico ou carga de pico será função do ganho de calor através das parede externas, vidros e telhados.

A maioria das edificações com uma ou mais faces expostas ao exterior

apresentam a carga de pico entre 13 h e 18 h.

As parcelas que compõem o cálculo da carga térmica são:

- cargas externas;
- cargas internas;
- carga de ventilação e infiltração.

5.1.1 Cargas externas

A carga de calor sensível devido às condições externas são:

- o efeito combinado da temperatura do ar exterior e a incidência da radiação solar que causa um fluxo de calor através das paredes externas e coberturas;
- a temperatura dos espaços adjacentes ocasionando um fluxo de calor para o espaço condicionado ou dele retirando calor;
- ganho de calor solar, devido à radiação direta ou indireta (difusa), através dos vidros e portas.

Para o cálculo da carga externa, as seguintes informações são necessárias:

- orientação e dimensões dos ambientes da edificação;
- características dos materiais do piso, paredes, teto, forro falso e vidros das janelas e portas;
- tamanho e utilização do espaço a ser condicionado;
- condições externas do meio ambiente e condições dos ambientes adjacentes.

CARGA DEVIDA À INSOLAÇÃO: A energia solar é concentrada na faixa visível da luz e na região infra-vermelha do espectro da radiação. Somente $1,373 \text{ kW/m}^2$ da radiação, alcança a superfície da terra quando a direção dos raios solares é vertical, para um céu limpo (sem nuvens).

Fora da atmosfera terrestre a radiação solar direta é composta de: 5% ultra-violeta, 52% de luz visível e 43% de infra-vermelho.

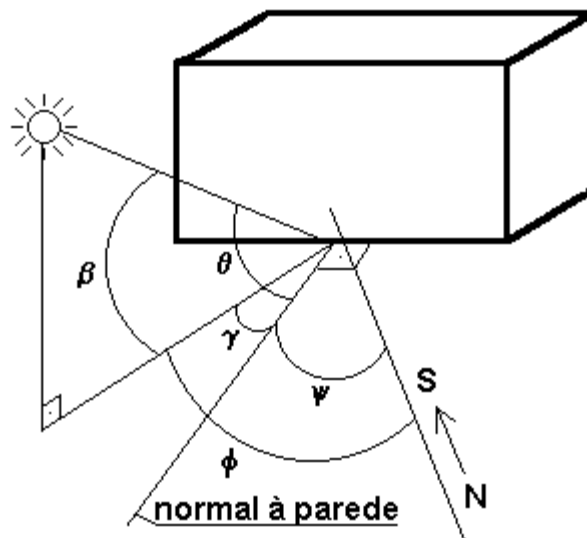
Na superfície da terra, sua composição aproximada é de 1% de ultra-violeta, 39% de luz visível e 60% de infra-vermelho.

A radiação celeste é um tipo de radiação difusa, cuja presença constitui o ganho de calor na terra; a ela é adicionada à radiação solar direta, que é maior quando a atmosfera está translúcida.

O guia, ASHRAE estabelece equações para avaliar o total de radiação recebida do céu pela superfície da terra. A quantidade recebida depende das variações sazonais da constante de umidade, da distância sol-terra, da variação angular com as vizinhanças e das superfícies refletoras mais relevantes.

Na (fig. 39), vemos os ângulos solares para superfícies horizontal e vertical.

FIGURA 39 - ÂNGULOS SOLARES EM RELAÇÃO A SUPERFÍCIES HORIZONTAL E VERTICAL



onde

- ψ azimute da parede;
- ϕ azimute solar do sol;
- θ ângulo de incidência solar;
- γ azimute solar da parede;
- β altitude solar.

No Brasil a insolação ocorre de acordo com as seguintes orientações:

- face N todo dia;
- face, L pela manhã;
- face, O pela tarde;
- face, S nenhum sol direto.

A energia solar é, quase sempre, a responsável pela maior parcela da carga térmica nos cálculos do ar condicionado, em geral como radiação e convecção e para redução da insolação, utiliza-se como proteção:

- janelas especiais ou elementos colocados junto a janela;
- vidros duplos reduzem em 50 % da insolação;
- vidros especiais em cor até 60 %;
- pintar parte externa do vidro em branco ou vidros espelhados em 50 %;
- elementos de sombra na face externa 75 % de redução;
- cores claras nas superfícies externas;
- cortinas e venezianas;
- camadas de isolamento nas paredes;
- espargir água no telhado constantemente.

Para a estimativa da carga térmica de insolação, é importante saber o horário de utilização da dependência e fazer o cálculo para a incidência máxima do sol. Embora se conheça com certa precisão a quantidade de calor por radiação e convecção oriundos do sol, a parcela que penetra nos recintos não é bem conhecida, todas as tabelas existentes dão uma estimativa para os cálculos

satisfatória na prática do ar condicionado.

A transmissão de calor do sol através de superfícies transparentes (vidro) subdivide-se em três partes (fig.40):

- uma que é refletida, q_1 ;
- uma que é absorvida pelo vidro, q_2 ;
- uma que atravessa o vidro, q_3 .

FIGURA 40 - TRANSMISSÃO DE CALOR SOLAR ATRAVÉS DE VIDRO

A parcela q_3 que penetra no recinto é a que interessa nos cálculos da carga térmica e pode ser calculada através da equação:

$$Q_s = A \times U \Delta T_e \quad (36)$$

onde

Q_s carga devida à insolação, W

A área de exposição, m^2

U coeficiente global de transmissão de calor, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

ΔT_e acréscimo ao diferencial de temperatura dado pela (tab. 5) para superfícies opacas e pela (tab. 6) para superfícies transparentes.

TABELA 5 - DIFERENCIAL DE TEMPERATURA DEVIDO À INSOLAÇÃO PARA SUPERFÍCIES OPACAS

COR ESCURA (preto, cinza escuro)	HORA	SE	E	NE	N	NO	O	SO	FORRO
	8	3,3	3,9						
	9	14,5	17,8	8,3					5,0
	10	17,8	24,4	14,4					16,1
	11	13,3	22,2	15,5					25,6
	12	6,7	15,0	13,3	0,5				32,8
	13		6,1	7,8	2,8				36,7
	14			1,1	3,3	1,1			38,3
	15				2,8	7,8	6,1		36,7
	16				0,5	13,3	15	6,7	32,8
	17					15,5	22,2	13,3	25,6
	18					14,4	24,4	17,8	16,1
	19					8,3	17,8	14,4	5,0
20						3,9	3,3		
COR MÉDIA (vermelho, marron, cinza claro)	HORA	SE	E	NE	N	NO	O	SO	FORRO
	8	0,5	1,1						
	9	7,8	9,4	3,9					1,7
	10	10	14,4	8,3					9,4
	11	7,2	12,8	8,9					15,0
	12	2,8	8,9	7,2					20,0
	13		2,8	3,9					22,2
	14				0,5				23,3
	15					3,9	2,78		22,2
	16					7,2	8,9	2,7	20,0
	17					8,9	12,8	7,2	15,0
	18					8,3	14,4	10	9,4
	19					3,9	9,4	7,8	1,7
20						1,1	0,5		
COR CLARA (branca, alumínio)	HORA	SE	E	NE	N	NO	O	SO	FORRO
	8	3,3							
	9	4,4	4,4	1,1					
	10	2,8	7,2	3,3					3,9
	11		6,1	3,9					7,8
	12		3,9	2,8					10,6
	13			0,5					12,2
	14								12,8
	15					0,5			12,2
	16					2,8	3,9		10,6
	17					3,9	6,1	2,8	7,8
	18					3,3	7,2	4,4	3,9
	19					1,1	4,4	3,3	
20									

TABELA 6 - DIFERENCIAL DE TEMPERATURA DEVIDO À INSOLAÇÃO PARA SUPERFÍCIES TRANSPARENTES

Sem proteção contra insolação ou cortinas escuras	HORA	SE	E	NE	N	NO	O	SO	CLARABÓIAS
	6	24,4	26,1	11,1					2,2
	7	61,6	74,0	38,9					25,0
	8	70,5	96,2	58,4					65,0
	9	50,5	85,6	59,5					98,0
	10	21,6	58,4	48,4	3,9				123,0
	11	1,1	20,0	26,7	8,9				137,0
	12			5,0	10,6	5,0			142,0
	13				8,9	26,7	20,0	1,1	137,0
	14				3,9	48,4	58,4	21,6	123,0
	15					59,5	85,5	50,5	98,0
	16					58,4	96,2	70,5	65,0
	17					38,9	74,0	61,6	25,0
18					11,1	26,1	24,4	2,2	
Com cortinas claras ou persianas internas	HORA	SE	E	NE	N	NO	O	SO	CLARABÓIAS
	6	12,2	13,3	5,5					11,1
	7	31,1	37,2	19,4					12,8
	8	35,5	48,3	29,4					32,8
	9	25,5	42,8	30,0					48,9
	10	10,5	29,4	23,9	1,7				61,5
	11	0,5	10,0	13,3	4,4				66,4
	12			2,8	5,0	2,8			71,0
	13				4,4	13,3	10,0	0,5	68,4
	14				1,7	23,9	29,4	10,5	61,5
	15					30,0	42,7	25,5	48,9
	16					29,4	48,3	35,5	32,8
	17					19,4	37,2	31,0	12,8
18					5,5	13,3	12,2	7,8	
Com persianas externas	HORA	SE	E	NE	N	NO	O	SO	CLARABÓIAS
	6	7,2	7,8	3,3					
	7	18,3	22,2	11,6					
	8	21,0	28,9	17,8					
	9	15,0	25,5	17,8					
	10	6,6	17,8	14,4	1,1				
	11		6,1	7,8	2,8				
	12			1,7	3,3	1,6			
	13				2,8	7,8	6,1		
	14				1,1	14,4	17,8	6,6	
	15					17,8	25,5	15,0	
	16					17,8	28,9	21,0	
	17					11,6	22,2	18,3	
18					3,3	7,8	7,2		

CARGA DEVIDO À CONDUÇÃO:

$$Q_s = A \times U \Delta T$$

(37)

onde

Q_s	carga devido a condução, W
A	área da superfície normal ao fluxo, m^2
U	coeficiente global de transmissão de calor, $W/m^2\text{°C}$
ΔT	diferença de temperatura, °C

5.1.2 Cargas internas

CARGA DEVIDA ÀS PESSOAS: Todo ser humano emite calor latente e calor sensível, que variam conforme esteja o indivíduo em repouso ou em atividade, a tabela 12 da NBR 6401, dá os valores do calor liberado pela pessoas em função da temperatura e da atividade .

CARGA DEVIDA AOS EQUIPAMENTOS: Os motores elétricos, quer estejam dentro do recinto, em qualquer ponto do fluxo de ar ou mesmo nos ventiladores, adicionam carga térmica sensível ao sistema devido às perdas nos enrolamentos, e esta carga precisa ser retirada pelo equipamento frigorífico. É preciso levar em conta se o motor está sempre em funcionamento ou se a sua utilização é apenas esporádica.

- motor do ventilador dentro da corrente de ar:

$$Q_s = \frac{P \times 733}{\eta} \quad (38)$$

- motor do ventilador fora da corrente de ar:

$$Q_s = \frac{P \times 733}{\eta} \quad (39)$$

Para outros motores que porventura permaneçam no recinto condicionado (elevadores, bombas, máquinas elétricas, perfuradoras etc.), temos:

$$Q_s = \left(\frac{P}{\eta} - P \right) \times 733 \quad (40)$$

onde

Q_s	ganho de calor do motor, W
P	potência do motor, CV
η	rendimento do motor

CARGA DEVIDA À ILUMINAÇÃO: A energia consumida pelas lâmpadas é praticamente toda ela transformada em carga térmica do ar do recinto, para a iluminação incandescente o ganho de calor sensível é dado por:

$$Q_s = P \quad (41)$$

onde

Q_s ganho de calor devido à iluminação, W
 P potência das lâmpadas, W

A iluminação fluorescente necessita de um equipamento adicional para prover a tensão necessária à partida e, após esta, a limitação de corrente. Esse equipamento é o reator, que adiciona cerca de 20% de carga; quando na instalação só se dispõe de reatores duplos e de alto fator de potência, pode-se reduzir essa carga adicional.

Deve-se levar em conta, no cálculo da carga térmica, que nem sempre todas as lâmpadas estão ligadas na hora que se tomou por base para o cálculo; geralmente na hora em que a carga térmica de insolação é máxima muitas lâmpadas podem estar desligadas.

CARGA DEVIDA À INFILTRAÇÃO: O movimento do ar exterior ao recinto possibilita a sua penetração através das 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 da troca de ar e o método das frestas.

No método da troca de ar se supõe a troca de ar por hora dos recintos, de acordo com o número de janelas e com base na (tab. 7). Trocar o ar significa renovar todo o ar contido no ambiente por hora. Com isso teremos o calor do ar exterior aumentando o do ar do recinto.

TABELA 7 - TROCAS DE AR POR HORA NOS RECINTOS

Janelas ou portas existentes	Trocas por hora
Nenhuma janela ou porta para o exterior	0,75
Janelas ou portas em uma parede	1,00
Janelas ou portas em duas paredes	1,50
Janelas ou portas em três paredes	2,00
Lojas	2,00

No método das frestas a penetração do ar exterior no interior do recinto depende da velocidade do vento. Estudos de laboratório mostrados na tabela 4 da NBR 6401, fornecem a quantidade de ar que penetra no recinto por metro linear de fresta.

Geralmente no condicionamento de ar procura-se manter positiva a pressão dentro do recinto. Para a pressão ser positiva na sala faz-se a vazão de ar externo, V_E igual a maior das duas parcelas:

- ar exterior para renovação;
- infiltrações pelas frestas, portas e exaustão se houver.

Neste caso, quando no recinto a pressão do ar é superior à exterior, não há penetração do ar de fora e essa parcela pode ser desprezada.

CARGA DEVIDA AO AR EXTERNO DE VENTILAÇÃO: A introdução de ar

externo de ventilação nos ambientes é necessário para diluir os odores produzidos nos mesmos. As fontes mais comuns de contaminação do ar ambiente são: os odores emitidos pelas pessoas, fumaça de cigarros, os odores dos alimentos, etc. A tabela 2 da NBR 6401, indica os valores de ar externo para ventilação baseados em dados experimentais que varia com a natureza de emprego do recinto.

O calor sensível devido ao ar externo é calculado usando a equação:

$$Q_s = \rho_L c_p V_E (t_E - t_S) \quad (42)$$

onde

- Q_s calor sensível devido ao ar externo, W
- ρ_L densidade do ar ajustado para a altitude local, (eq. 19)
- c_p calor específico do ar seco, kJ/kg °C
- V_E vazão de ar externo, l/s
- t_E temperatura do ar externo, °C
- t_S temperatura interna da sala, °C

O calor latente devido ao ar externo é calculado usando a equação:

$$Q_L = \rho_L c_p V_E (w_E - w_S) \quad (43)$$

onde

- Q_L calor latente devido ao ar externo, W
- ρ_L densidade do ar ajustado para a altitude local, (eq. 19)
- c_p calor específico do ar seco, kJ/kg°C
- V_E vazão de ar externo, l/s
- w_E umidade específica do ar externo, g/kg ar seco
- w_S umidade específica interna da sala, g/kg ar seco

CARGA TÉRMICA DIVERSAS: tubulações, dutos de ar (1 a 3%), equipamentos de gás, bombas, ventiladores, etc.

5.2 CARGA TÉRMICA DE AQUECIMENTO

Para inverno, devem ser calculadas as cargas de calor sensível e latente serem compensadas pelo aquecimento e umidificação do ar, estas cargas são constituídas pelas parcelas devidas a transmissão pelas paredes, pisos, tetos, vidros, etc., ar externo e se houver também a infiltração.

Antes de iniciar o cálculo da carga térmica, deve ser feita uma completa inspeção nos dados físicos do ambiente a ser condicionado, quanto mais precisa forem as informações, mais precisa será a estimativa de cálculo.

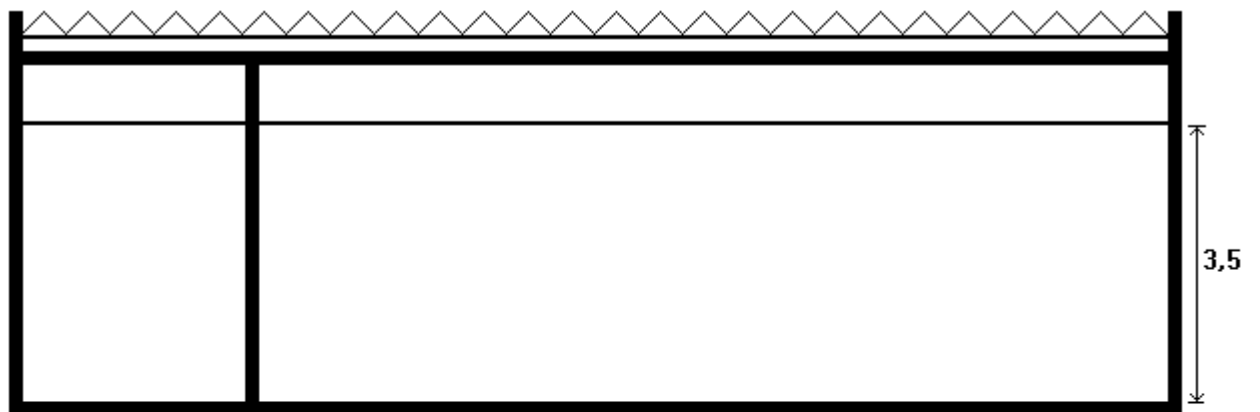
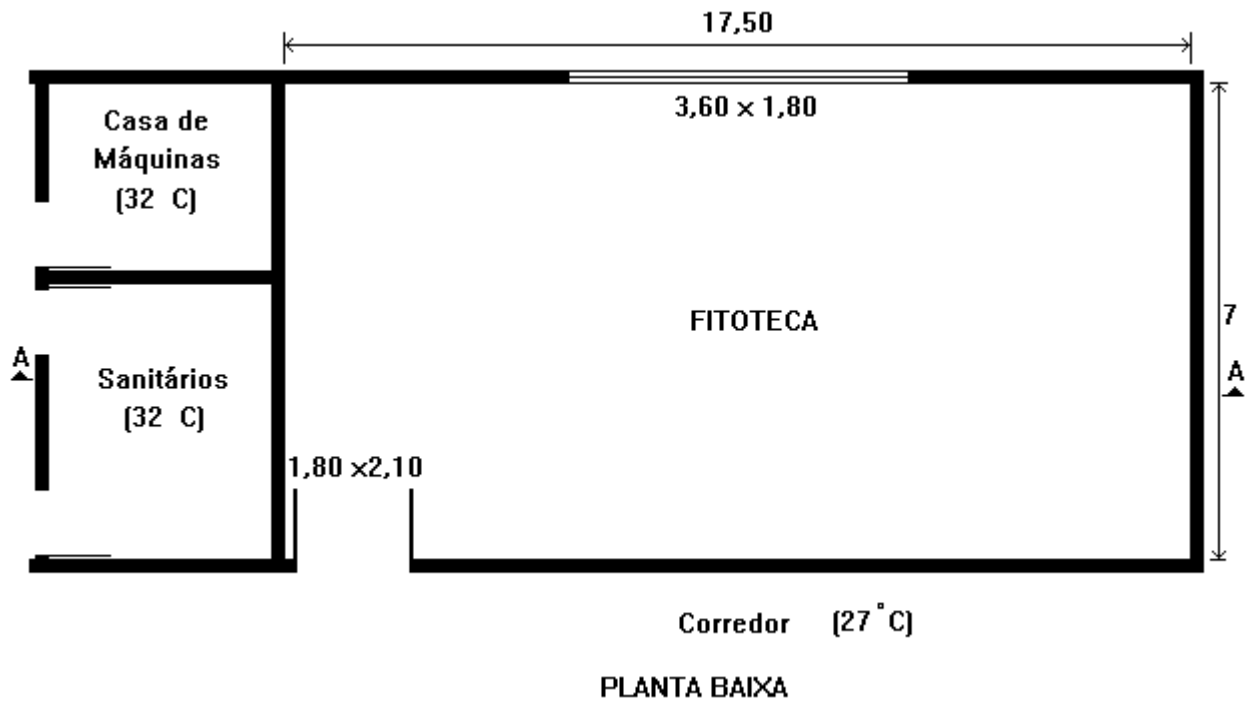
5.3 EXEMPLO ILUSTRATIVO

EXEMPLO 5.3.1 - Calcular a carga térmica de resfriamento e aquecimento, para atender uma sala de computadores (fig. 41) que deverá utilizar um sistema de expansão direta com condensação a água.

BASES DE CÁLCULO:

1. Local: Rio de Janeiro
 - latitude = -23
 - longitude = 43,2
 - verão: $t_{bs} = 35^{\circ}\text{C}$; $\phi = 53\%$
 - inverno: $t_{bs} = 14^{\circ}\text{C}$; $\phi = 80\%$
2. Regime de Operação: 24 horas/dia.
3. Ocupação: 3 pessoas.
4. Iluminação fluorescente: 3500 W
5. Equipamentos: 2500 W
6. Motor do ventilador do evaporador: 3 CV
7. Detalhes Arquitetônicos:
 - orientação do prédio: conforme projeto arquitetônico;
 - paredes internas de tijolo furado 15 cm e reboco, sendo pintura de cor média;
 - paredes externas de tijolo furado 25 cm e reboco, sendo pintura de cor média;
 - teto: considerar o corte do perfil da cobertura, cor média;
 - piso: considerar piso com laje de 10 cm e acabamento de taco;
 - janelas com vidro: considerar janelas fechadas e protegidas por persianas internas de cor clara;
 - portas: considerar todas as portas para ambientes não condicionados e para o exterior normalmente fechadas.
 - $U_{\text{paredes internas e portas}} = 2,23 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $U_{\text{paredes externas}} = 1,96 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $U_{\text{janela}} = 6,2 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$
8. Nível de Ruído: 40 a 50 dBA;
9. Pureza do ar: Filtro de classe F3 < 90 % p/ 5 μm ;
10. Fator de by-pass: 0,14
11. Croquis da Instalação:

FIGURA 41 - CROQUIS DA INSTALAÇÃO



Orientação



Dimensão em m
Desenho sem escala

Perfil Cobertura

telha eternit
(cor clara)

