



ANÁLISE DA CLIMATIZAÇÃO EXISTENTE DA SALA DA ENGENHARIA DA CAMERON ANALYSIS OF THE EXISTING ENGINEERING FLOOR AIR-CONDITIONING AT CAMERON

Wendell de Queiróz Lamas | wendell@unitau.br

José Felipe Braz | jose.braz@c-a-m.com

Marcos Henrique Carvalho Silva | marcos.silva@c-a-m.com

Luiz Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes | luiz@unitau.br

Daniela Helena Pelegrine Guimarães | dhguima@uol.com.br

RESUMO

Este trabalho foi estudado na empresa Cameron do Brasil Ltda., especificamente no setor da engenharia de projetos. Apesar de ser um prédio novo, cálculo de cargas térmicas para um correto dimensionamento dos aparelhos condicionadores de ar não foi realizado. O cálculo da carga térmica dos ambientes a serem condicionados é a primeira etapa no dimensionamento de um sistema de ar-condicionado. A escolha do setor de engenharia demonstrará que com uma correta escolha dos aparelhos condicionadores de ar o consumo de energia pode ser reduzido e conforto térmico obtido satisfatoriamente.

Palavras chave: ar-condicionado, carga térmica, conforto térmico, dimensionamento, energia.

ABSTRACT

This work has been based on the company Cameron of Brazil, in this case on the product design engineering department. Although the existing building is new, no calculation has been provided to determine the thermal charge to ensure the correct specification of the air-conditioning equipment. The calculation of the thermal charge of the environment to be conditioned is the first step in specifying the air-conditioning systems. The study of the engineering floor will show that the correct specification of air-conditioning equipment can reduce electricity consumption and reach satisfactorily the thermal comfort.

Keywords: air-conditioning, thermal charge, thermal comfort, specification, electricity.

1. INTRODUÇÃO

Um sistema de condicionamento de ar tem como função básica a manutenção das condições de conforto para o homem ou das condições necessárias para um produto ou processo industrial [4].

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 [3]. Para atender às condições térmicas é necessária 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 [1]. É impossível obter o pico real de carga de um recinto devido aos fatores ambientais e da estrutura a ser condicionada, tal como a 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 [1].

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.

Também podemos conceituar carga térmica como sendo “O fluxo de calor que deve ser continuamente transferido de/ou para um ambiente, por um equipamento, de modo a atender as condições de conforto ou de processo” [1]. Para que este fluxo de calor seja transferido, é necessário que haja um meio de transferência deste calor por um processo físico (condução, convecção ou radiação), devendo existir, portanto, um gradiente de temperatura. A análise de uma carga de ar condicionado fica simplificada se for dividida de acordo com os grupos das fontes de calor envolvidas na mesma [1]. Portanto, têm-se os seguintes grupos:

- a. Ganhos através do “envelope” ou ganhos externos: tetos, paredes, vidros e pisos;
- b. Ganhos Internos: pessoas, luzes, equipamentos.

É de fundamental importância para o cálculo de carga térmica o conhecimento das condições externas (latitude, orientação em relação a linha norte-sul, influência de outras construções etc.), condições internas (condicionamento de ar para conforto ou processo, natureza construtiva dos ambientes etc.) bem como a operação da instalação (pessoas, iluminação, equipamentos) [1].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E GEOGRÁFICAS

De modo a definir-se o comportamento da carga térmica requerida pelos ambientes a serem condicionados ao longo de todo um ano devem ser utilizados dados relativos aos diferentes meses do ano, para as condições de projeto normalmente especificadas no cálculo das cargas térmicas de resfriamento.

Outro fator importante é o posicionamento das fachadas dos ambientes condicionados em relação a linha norte-sul, conforme mostrado na Figura 1.

As temperaturas internas de conforto devem ser utilizadas de acordo com o estabelecido pela ABNT, conforme apresentado na Tabela 2.

2.2. GANHOS DE CALOR ATRAVÉS DO “ENVELOPE”

Os ganhos de calor transmitidos ao ambiente através do “envelope” são devidos aos efeitos de condução, convecção e radiação, sendo basicamente conhecidos pela equação fundamental de transmissão de calor:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

Onde:

Q = quantidade de calor transmitida por hora (BTU/h);

U = coeficiente global de transmissão de calor (BTU/h ft² °F);

A = área da superfície separadora (ft²);

ΔT = diferença de temperatura (°F).

2.2.1. DETERMINAÇÃO DO FATOR “U”

O coeficiente global de transmissão de calor “U” é a medida do fluxo de calor através de uma área de superfície, quando existir diferença de temperatura nos dois lados da parede. Sua determinação depende do material da superfície, da espessura e do coeficiente de condutibilidade térmica da parede, como também do coeficiente de película do ar. O fator “U” para qualquer tipo de construção de parede pode ser calculado prontamente, com a condição de que ou a condutividade ou a condutância de cada um dos materiais usados na construção da parede seja conhecida. A condutividade ou condutância da maioria dos materiais usados na construção de paredes pode ser achada nas tabelas. A condutividade térmica “k” de um material é a taxa por hora à qual o calor passa através de seção transversal do material com espessura unitária para cada unidade de diferença de temperatura sobre o material, e é dada em btu/h ft °F. Enquanto a condutividade térmica “k” é útil somente para materiais homogêneos e o valor dado é sempre para a unidade de espessura do material, a condutância térmica “C”, é útil tanto para os materiais homogêneos, quanto para os heterogêneos e o valor é dado para a espessura específica do material.

$$C = \frac{k}{x} \quad (2)$$

Onde:

x = espessura do material em polegadas.

A resistência que uma parede ou um material oferece ao fluxo de calor é inversamente proporcional à capacidade da parede ou material de transmitir calor. Por isso, a resistência térmica total de uma parede pode ser expressa como a recíproca do coeficiente de transmissão total, enquanto a resistência térmica de um material individual pode ser expressa como a recíproca de sua condutividade ou condutância, isto é:

$$R = \frac{1}{U} \quad (3)$$

Os termos 1/k e 1/C exprimem a resistência ao fluxo de calor através de um material simples somente de superfície para superfície e não levam em conta a resistência térmica da fina camada de ar que adere a todas as superfícies expostas. Na determinação da resistência térmica total para o fluxo de calor através de uma parede de ar de um lado para o ar de outro lado, a resistência do ar em ambos os lados da parede pode ser considerada. Os coeficientes da camada de ar ou condutâncias da superfície para as velocidades médias do vento são dados na Tabela 3.

2.3. GANHOS POR INSOLAÇÃO NOS VIDROS

Os ganhos por insolação nos vidros são, na maioria das vezes, os responsáveis pela maior parcela de carga térmica no ambiente, no caso de termos grandes áreas de vidro. O ganho solar acontece por radiação direta, quando os raios solares incidem diretamente sob o vidro; e por radiação difusa, onde ocorre a reflexão sobre partículas de poeira, vapor, ozônio, fumaça etc. (com o vidro em sombra). A quantidade de calor devido a radiação solar nos vidros é conhecida pela Equação (4), a seguir:

$$Q = A \cdot I \cdot f \quad (4)$$

Onde:

Q = quantidade de calor transmitida por hora (btu/h);

A = área da superfície de vidro (ft²);

I = radiação solar (btu/h ft²);

f = fator de correção.

Para cálculo preciso do ganho de calor por insolação nos vidros deve-se consultar as tabelas “Ganho de Calor Solar Através de Vidro Comum” para a latitude desejada no manual de ar-condicionado da Carrier (Part III – Load Estimating) [2] ou os Handbooks da Ashrae [3].

2.4. GANHOS POR TRANSMISSÃO EM PAREDES EXTERNAS E TETO

Para os cálculos dos ganhos por transmissão em paredes externas e tetos, considera-se os efeitos da condução, convecção e radiação incidente sobre as superfícies, como também sua variação devido ao ângulo de incidência, tipo de construção, cor e acabamento e refletividade. Também foi considerado o fluxo de calor associado a inércia térmica (atraso de tempo).

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{\text{equiv.}} \quad (5)$$

Onde:

$\Delta T_{\text{equiv.}}$ = diferença de temperatura equivalente (°F).

Todas as vezes que as paredes estão situadas de tal modo que recebem uma quantidade excessiva de calor por radiação, ou do sol ou de algum outro corpo quente, a temperatura da superfície exterior da parede em geral, será consideravelmente maior do que a temperatura do ar ambiente. Um exemplo familiar deste fenômeno é a excessiva temperatura da superfície de

um automóvel estacionado ao sol. Uma vez que qualquer aumento na superfície externa poderá aumentar o diferencial de temperatura através da parede, o diferencial de temperatura através de paredes ensolaradas deve ser corrigido para compensar o efeito do sol. Para determinação do valor do diferencial de temperatura equivalente para qualquer latitude, mês e cores de parede, devem ser consideradas as tabelas do manual de ar-condicionado da Carrier (Part III – Load Estimating) [2] ou os Handbooks da Ashrae [3].

2.5. GANHOS DIVERSOS POR TRANSMISSÃO DE CALOR

Para os cálculos dos ganhos diversos por transmissão de calor foi considerada a Equação (6).

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{\text{projeto}} \quad (6)$$

Onde:

$\Delta T_{\text{projeto}}$ = temperatura externa – temperatura interna (°F).

Vidros:

- Externos $\Delta T_{\text{projeto}}$

- Internos $\Delta T_{\text{projeto}} = 5^\circ\text{F}$

Paredes internas ou divisórias adjacentes a:

- Ambientes não condicionados $\Delta T_{\text{projeto}} - 5^\circ\text{F}$

- Ambientes condicionados $\Delta T_{\text{projeto}} = \text{Zero}$

Pisos adjacentes a:

- Ambientes condicionados $\Delta T_{\text{projeto}} = \text{Zero}$

- Ambientes não condicionados $\Delta T_{\text{projeto}} - 5^\circ\text{F}$

Tetos internos (forros) adjacentes a:

- Ambientes não condicionados $\Delta T_{\text{projeto}} - 5^\circ\text{F}$

- Ambientes condicionados $\Delta T_{\text{projeto}} = \text{Zero}$

2.6. GANHOS DE CALOR INTERNO

2.6.1. ILUMINAÇÃO

Para determinação do calor dissipado pela iluminação do prédio em questão, foram utilizadas as taxas apresentadas na Tabela 4.

A quantidade de calor dissipada por luminárias em um determinado ambiente condicionado é obtida pela Equação (7).

$$Q = t_i \cdot A \quad (7)$$

Onde:

t_i = taxa de iluminação (W/m^2);

A = área do ambiente condicionado (m^2).

De modo a se conseguir um maior controle sobre determinada variável (que poderá ser iluminação, ocupação, operação ou equipamentos), faz-se necessário a utilização de “schedules” que determinarão a variação desta de acordo com o horário, fornecendo um valor percentual que a variável assumirá em determinada hora do dia em relação a um valor máximo que esta variável pode assumir em um horário qualquer.

2.6.2. PESSOAS

Para determinação da quantidade de calor sensível e latente dissipados pelas pessoas presentes no prédio estudado, foram utilizadas as taxas apresentadas na Tabela 5.

No entanto, o calor dissipado pelo ser humano varia de acordo com a atividade praticada no momento, de acordo com o metabolismo de cada indivíduo. A Tabela 6 apresenta as taxas metabólicas de calor dissipado por pessoa para diferentes aplicações típicas.

As Equações (8) e (9) mostram respectivamente a quantidade total de calor sensível e latente dissipada por uma concentração de pessoas em um determinado ambiente condicionado.

$$Q = t_o \cdot A \cdot m_{sens.} \quad (8)$$

$$Q = t_o \cdot A \cdot m_{lat.} \quad (9)$$

Onde:

t_o = taxa de ocupação ($m^2/pessoa$);

A = área do ambiente condicionado (m^2);

$m_{sens.}$ = ganho de calor sensível por pessoa;

$m_{lat.}$ = ganho de calor latente por pessoa.

De forma análoga a iluminação, deve-se considerar a variação de ocupação ao longo do dia, através da utilização de schedules de ocupação.

2.6.3. EQUIPAMENTOS

A contribuição da carga de equipamentos no total da carga térmica de ar-condicionado tem crescido ao longo dos anos, na medida em que os escritórios, as lojas e os supermercados têm se tornado mais automatizados. Nestes casos, a carga de equipamentos é atribuída aos equipamentos de processamentos de dados, tais como computadores e impressoras. A Tabela 7 mostra a enorme diferença entre o consumo avaliado pelos fabricantes nas placas técnicas e o consumo medido em testes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em função da variedade de parâmetros ambientais que devem ser satisfeitos, necessita-se de equipamentos condicionadores de diversos tipos e capacidades. Se uma potência imprópria for utilizada as condições ambientais podem não ser satisfeitas, durante algumas horas do dia. Se, além disso, for escolhido um tipo errado de equipamento corre-se o risco de nunca se conseguir os valores de projeto.

O fator economia também deve ser considerado, pois a seleção de um tipo errado e/ou potência imprópria do equipamento causará um consumo de energia excessivo além de avaliar incorretamente o custo de aquisição.

Desta forma, o bom dimensionamento da carga térmica é primordial para a redução do consumo de energia, para a especificação correta dos equipamentos, para o cálculo correto da rede de distribuição de ar, que favorecem o aumento da eficiência do sistema, reduzindo assim custos operacionais.

Para obter-se com precisão a capacidade ou tamanho que o condicionador de ar precisa ter para satisfazer todas as necessidades do ambiente é preciso executar o levantamento de todas as condições do local em que será instalada a unidade.

Para as janelas com insolação deve-se somar as áreas de janelas em cada parede e preencher na respectiva fachada. Como exemplos de proteção interna tem-se as persianas, cortinas ou similares;

e como proteção externa, os toldos ou anteparos capazes de proteger o ambiente da incidência direta de raios solares.

No caso das paredes, deve-se determinar a área das paredes expostas externamente, sem considerar as áreas de janela. As paredes constantemente sombreadas por construções adjacentes devem ser consideradas como exposição “sul”. As paredes adjacentes a ambientes condicionados não devem ser consideradas. Para as portas ou vãos que permanecem constantemente abertos para ambientes não condicionados, deve determinar a área de abertura.

De maneira geral, os principais dados considerados para o cálculo da carga térmica da sala da engenharia podem ser observados a seguir:

- a. Capacidade: 55 pessoas (máximo);
- b. Computadores: 55;
- c. Impressoras: 2;
- d. Temperatura ideal: 24°C;
- e. Iluminação, lâmpadas fluorescentes: 150 x 10 Watts;
- f. Área da sala da engenharia: 476 m².

Aplicando-se a metodologia mencionada neste trabalho e as condições de contorno da sala existente obteve-se uma carga térmica total de 250.000 BTU/h.

A engenharia é equipada com nove condicionadores de ar do tipo evaporativo marca *Carrier*, distribuídos em seus 476m², cada um com capacidade de 60.000 BTU/h produzindo uma capacidade total de refrigeração de 540.000 BTU/h.

4. CONCLUSÕES

Os atuais aparelhos possuem uma capacidade total de 540.000 BTU/h, a área a ser condicionada produz uma energia térmica de 250.000 BTU/h. A escolha de aparelhos corretos reduziria muito a energia consumida e os custos na obtenção de aparelhos. Os resultados evidenciaram que uma análise prévia das condições de contorno e conforto térmico pode reduzir bastante o consumo de energia e consequentemente gerar uma economia na compra de aparelhos condicionadores de ar. O cálculo das cargas térmicas proporciona um melhor dimensionamento dos aparelhos condicionadores de ar sem diminuir o conforto térmico.

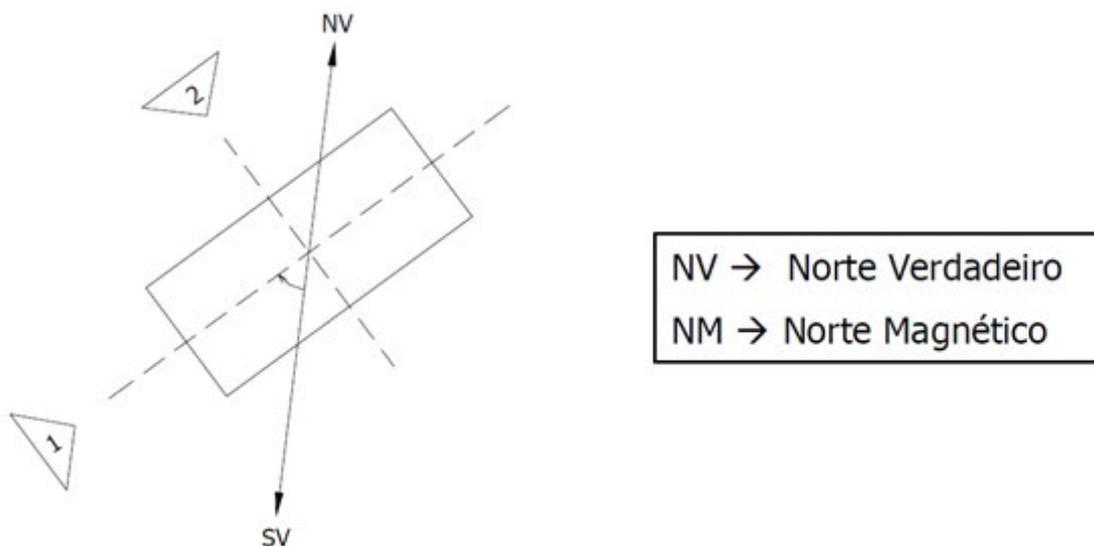
REFERÊNCIAS

- [1] FROTA, A.B, Manual do conforto térmico: arquitetura e urbanismo, 5ª. Ed, São Paulo, Studio Nobel, Brasil, 2001.
- [2] CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY, Handbook of air conditioning system design, New York, McGraw-Hill, 1965.
- [3] ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 62.1.2007, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, 2007.
- [4] COSTA, E.C, Física aplicada à construção: conforto térmico, Porto Alegre, Blucher, Brasil, 1974.

LEGENDAS DAS FIGURAS

Figura 1 – Orientação do “ambiente” em relação a linha norte-sul verdadeiros

Figura 1



Legenda das Tabelas

Tabela 1 – Dados geográficos para Taubaté

Tabela 2 – Condições internas de conforto para residências, escritórios e escolas

Tabela 3 – Condutividade térmica de materiais utilizados em paredes

Tabela 4 – Energia dissipada por luminárias

Tabela 5 – Valores para ocupação de recintos

Tabela 6 – Fator “m”: ganho de calor por pessoa (BTU/h/pessoa)

Tabela 7 – Resumo de carga de computadores, monitores e impressoras a laser

Tabela 1

Latitude:	23° Sul
Longitude:	45° Leste
Altitude	700 m

Tabela 2

Temp. de Bulbo Seco (°C)	Umidade Relativa (%)	
Verão	23 a 25	40 a 60
Inverno	20 a 22	35 a 65

Tabela 3

Material	Descrição	Condutividade	Condutividade
		Térmica (k)	Térmica (C)
Alvenaria	Tijolo, comum	5,0	
	Tijolo, fachada	9,0	
	Concreto, argamassa ou reboco	12,0	
	Bloco de concreto – Agregado de areia 4 pol.		1,40
	Argamassa de gesso ½ pol.		3,12
Condutância da superfície (coeficiente de convecção)	Ar parado		1,65
	Ar em movimento (7,5 milhas/hora)		4,00
	Ar em movimento (15 milhas/hora)		6,00
Vidro	Vidraça simples		1,06
	Duas vidraças		0,46
	Três vidraças		0,29
	Quatro vidraças		0,21

* Valores de k e C em unidades inglesas

Tabela 4

Local	Tipo de Iluminação	Nível de Iluminação (Lux)	Potência Dissipada (W/m ²)
Escritórios	Fluorescente	1000	40
Corredores	Incandescente	100	15
Sala de Convenções	Incandescente	500	25
Recepção	Incandescente	250	30

* Os valores de dissipação das lâmpadas fluorescente já incluem os reatores

Tabela 5

Local	Taxa de Ocupação (m ² /pessoa)
Escritórios Privados	8,0
Salas de Residências	8,0
Escritórios Gerais	6,0
Lojas de pouco público	5,0
Lojas de muito público	3,0

Tabela 6

Grau de Atividade	Aplicação típica	Taxa Metabólica	Taxa Metabólica ajustada	Temperatura de bulbo seco									
				82°F		80°F		78°F		75°F		70°F	
				Sens	Lat.	Sens	Lat.	Sens	Lat.	Sens	Lat.	Sens	Lat.
Trabalho de escritório	Escritório, hotel, ap.	475	450										
Caminhando vagarosamente	Loja varied., varejo	550		180	270	200	250	215	235	245	205	285	165
Trabalho sedentário	Restaurante	500	550	190	360	220	320	240	310	280	270	320	230
Andando a 5 km/h	Fábrica, trab. pesado	100	100	270	730	300	700	330	670	380	620	460	540
Trabalho pesado	Boliche, fábrica	1500	1450	450	1000	465	985	485	965	525	925	605	845

Tabela 7

Equipamento	Avaliação do fabricante (W)	Consumo máximo medido (W)	Consumo com Equipamento ocioso (W)
Computadores	391	56	56
Monitores	209	60	60
Impressoras	874	665	24