

# Projeto e seleção de um equipamento de ar condicionado para um vagão de passageiros de trem

**Daniel Cadario de Azevedo Centini**  
daniel.cadario@gmail.com

**Prof. Dr. José Roberto Simões Moreira**  
jrsimoes@usp.br

**Resumo.** No projeto de um trem, é muito importante assegurar o conforto térmico dentro do vagão de passageiros, especialmente para grandes deslocamentos em dias quentes de verão. Este estudo consiste em avaliar as variações da carga térmica dentro de um vagão de passageiros, para em seguida determinar o equipamento de ar condicionado mais apropriado, que possa garantir condições de conforto térmico para todos os passageiros.

**Palavras chave:** Ar condicionado, conforto térmico, carga térmica, refrigeração, trem

## 1. Introdução

Nas grandes cidades, o aumento do número de habitantes provoca um deslocamento diário de um número cada vez maior de pessoas. Portanto, o transporte ferroviário torna-se muito importante, porque facilita este deslocamento, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida, através do descongestionamento do tráfego rodoviário e da redução da emissão de poluentes.

Um projeto adequado de um carro de trem deve proporcionar um ambiente térmico confortável para os passageiros. No processo de dimensionamento de um sistema de condicionamento de ar para um carro de trem, a determinação da carga térmica interna representa o mais importante passo e o seu cálculo é muito importante para a seleção do equipamento de ar condicionado. O dimensionamento incorreto da carga térmica pode acarretar a seleção inadequada do equipamento e conseqüentemente, desconforto térmico dos passageiros.

## 2. Condições de Projeto

Denomina-se condições de projeto o conjunto dos parâmetros e hipóteses, determinados pelo projetista, a serem adotados para se obter resultados satisfatórios para o projeto. Os cálculos das diversas cargas térmicas são realizados com base nesses parâmetros e hipóteses. Os parâmetros envolvem valores para as condições climáticas externas, valores para as condições climáticas internas desejadas, e as condições de ocupação, por exemplo.

Além das questões climáticas, são necessários diversos dados a respeito do vagão de passageiros para realizar o cálculo de cargas térmicas, tais como: dimensões principais, dimensões das portas e janelas, velocidade do trem, espessura das paredes e dos vidros. A Tab. (1) apresenta os valores utilizados para os diversos parâmetros do carro de trem.

Tabela 1 - Valores dos parâmetros relacionados ao vagão de passageiros. [4]

<b>Altura interna (m)</b>	2,15
<b>Comprimento (m)</b>	21,92
<b>Largura(m)</b>	3,05
<b>Largura Janela (m)</b>	2,22
<b>Altura Janela (m)</b>	0,92
<b>Largura porta lateral(m)</b>	1,35
<b>Altura Porta lateral(m)</b>	1,90
<b>Área Janela (m<sup>2</sup>)</b>	2,04
<b>Área Porta (m<sup>2</sup>)</b>	2,57
<b>Área Vidro Porta (m<sup>2</sup>)</b>	0,26
<b>Temperatura das Paredes (°C)</b>	20,00
<b>Velocidade do Trem (m/s)</b>	22,22
<b>e (espessura paredes da caixa) (m)</b>	0,01
<b>ev (espessura vidro) (m)</b>	0,005

Alguns dos parâmetros da Tabela 1 foram estimados com base em outros parâmetros conhecidos através de relações de proporcionalidade. Outros parâmetros foram adotados, como por exemplo, a velocidade do trem, que foi estabelecida como sendo próxima da velocidade máxima da composição de carros.

Em um primeiro passo, deve-se definir as condições climáticas externas, isto é, a temperatura de bulbo seco e a umidade ao longo do dia. Para tanto, são considerados dados climáticos de um dia típico de verão de Janeiro para a cidade de São Paulo. A Tab. (2) mostra as características do dia típico adotado, ao longo das 24 horas.

Em relação às condições climáticas internas do vagão de passageiros, deseja-se que o ar condicionado mantenha o ambiente interno a uma temperatura de bulbo seco igual a 23°C e a uma umidade relativa de 60%, condições em que existe conforto térmico para os passageiros, para o inverno e para o verão. Esta escolha é feita a partir da Carta de conforto térmico da ASHRAE [2]

Tabela 2 - Condições climáticas de um dia típico de verão do mês de janeiro, em São Paulo. [3]

Condições Climáticas				
Hora	TBS (°C)	TBU (°C)	$\phi$ (%)	Vel. Vento (m/s)
1	22,9	20,2	79	2,3
2	22,5	20	81	2
3	22,2	19,8	82	1,9
4	21,8	19,6	82	2
5	21,5	19,4	83	2,1
6	21	19,2	85	2,1
7	20,8	19,1	85	2,1
8	21,5	19,2	82	2,3
9	23,5	19,7	75	2,9
10	24,9	20,2	67	3,9
11	26,7	20,6	59	4,9
12	28,1	20,9	54	5,4
13	29,3	21	49	5,7
14	29,9	20,3	48	5,7
15	30,7	21,2	45	5,6
16	30,8	21,3	45	5,9
17	30,3	21,3	47	5,6
18	29,8	21,3	49	5,3
19	28,7	21,2	53	4,7
20	27,4	21,2	60	3,5
21	26,1	21	66	3
22	25,2	20,8	71	2,7
23	24,3	20,6	73	2,7
24	23,8	20,4	75	2,4
Média Diária	25,5	20,4	66	3,6

### 3. Condições de Qualidade do Ar

É preciso garantir a qualidade do ar em um ambiente interno climatizado para que existam condições de conforto apropriadas para a saúde. As partículas de poluição oriundas de fontes externas ou internas devem ser removidas ou diluídas. Para tanto, é importante que haja processos de ventilação e filtragem para eliminar odores, partículas contaminantes, e renovar o ar ambiente (evitar o acúmulo de gás carbônico).

Logo, uma taxa de troca de ar com o ambiente externo será adotada para propiciar a renovação do ar interno do vagão de passageiros. Segundo a norma ABNT NBR 16401:3 [1], a taxa de renovação de ar recomendável para um ambiente condicionado, para aplicações gerais, é de 27 m<sup>3</sup>/(pessoa.hora). Esta taxa será utilizada para calcular a carga térmica de ventilação.

### 4. Cálculo de Cargas Térmicas

Todo projeto de um sistema de refrigeração ou ar condicionado começa com a avaliação de qual é a quantidade de calor que deve ser retirada ou fornecida a um determinado ambiente ou processo. Esta quantidade de calor é chamada de carga térmica, ou potência térmica produzida. Esta carga térmica, na refrigeração, é fruto dos diversos ganhos de calor, ou seja, das diversas formas pela qual o ambiente recebe calor do meio externo. As cargas térmicas podem ser classificadas em dois tipos:

- **Carga Térmica sensível:** quantidade de calor que deve ser trocada com o ar para que seja possível atingir uma temperatura pré-definida. Esta carga térmica afeta a temperatura do carro. Exemplos: Transmissão de calor, insolação, entrada de ar externo mais aquecido, fontes internas de calor (pessoas e iluminação);
- **Carga Térmica Latente:** trata-se do calor da evaporação da água. Esta carga térmica afeta a umidade do carro. Exemplos: entrada de ar mais aquecido, fontes internas de umidade (ocupantes).

#### 4.1 Carga Térmica de Transmissão

O cálculo de carga térmica devido à transmissão de calor através da estrutura é determinado por:

$$Q_t = UA(T_e + \Delta T_{rad} - T_i) \quad [1]$$

Onde U é o coeficiente global de transferência de calor da parede (W/ m<sup>2</sup>.°C), A é a área da parede (m<sup>2</sup>), T<sub>e</sub> é a temperatura do meio externo (°C), T<sub>i</sub> é a temperatura do meio interno (°C) e  $\Delta T_{rad}$  é um termo de correção da temperatura externa devido ao efeito da radiação solar na superfície(°C) [5].

O coeficiente global U engloba apenas os efeitos de condução e convecção e é calculado a partir da seguinte relação, já vista anteriormente:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \sum_{j=1}^n (e_j/k_j) + \frac{1}{h_i}} \quad [2]$$

Onde h<sub>0</sub> e h<sub>i</sub> são os coeficientes de convecção do lado externo e interno (W/m<sup>2</sup>.K), e<sub>j</sub> é a espessura das camadas que compõem a parede (m) e k<sub>j</sub> é a condutividade térmica das camadas (W/m.K).

Para determinar o coeficiente global de transferência de calor U, é preciso determinar os coeficientes de convecção externa e interna. Para tanto, foi considerado um modelo de escoamento de ar sobre uma placa plana para representar os efeitos de convecção externa ou interna do ar sobre as superfícies do trem. Logo, os coeficientes de convecção externa e interna obtidos, foram, respectivamente, h<sub>0</sub> = 17,5 W/m<sup>2</sup>.K e h<sub>i</sub> = 8 W/m<sup>2</sup>.K.

Calculou-se então a carga térmica devida à transmissão de calor ao longo das 24 horas do dia. O gráfico da Fig. (1) representa a variação desta carga térmica.

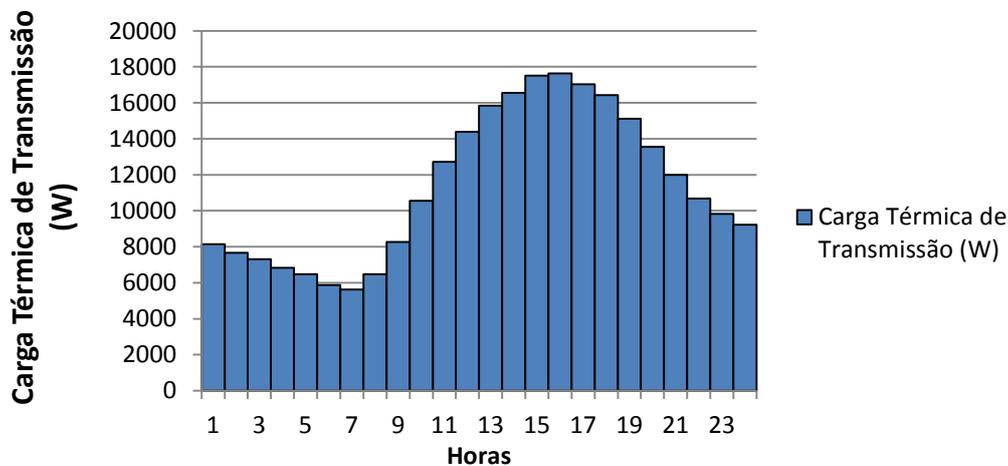


Figura 1 : Carga térmica de transmissão ao longo do dia.

#### 4.2 Carga Térmica de Insolação através de superfícies transparentes

Além do fenômeno de transmissão de calor, existe também a transferência de calor resultante da radiação solar, provocada pela incidência dos raios de luz nas superfícies transparentes (vidros do vagão de passageiros). Quando ocorre a incidência através dos vidros, há a passagem de uma parcela da radiação solar para dentro do ambiente.

A energia solar que atravessa uma superfície transparente é dada pela seguinte relação, de acordo com [6]:

$$Q_s = A. (\tau. I_t + N. \alpha. I_t) \quad [3]$$

Onde A é a área da superfície (m<sup>2</sup>), I<sub>t</sub> é a irradiação exterior (W/m<sup>2</sup>), e N é a fração da energia solar absorvida que é transmitida por convecção e condução. Após tratamento matemático, a relação acima é transformada [7] em:

$$Q_s = (FGCI_{max}). (FCR). (CS). A \quad [4]$$

Onde  $FGCI_{max}$  é o fator de ganho de calor por insolação máximo para um vidro plano claro ( $W/m^2$ ),  $FCR$  é o fator de carga de refrigeração,  $CS$  é o coeficiente de sombreamento da superfície transparente e  $A$  é a área de troca de calor ( $m^2$ ). Existem valores tabelados para  $FGCI_{max}$  [8],  $FCR$ [8] (São Paulo) e  $CS$ [9] .

Deve-se frisar que os valores de  $FGCI_{max}$  dependem da orientação das superfícies transparentes e que os valores de  $FCR$  dependem da orientação e da hora do dia. A combinação mais crítica dos valores para estes dois termos foi adotada, o que corresponde a um percurso de Sul a Norte do trem, de modo que os vidros do vagão fiquem orientados para o Leste e para o Oeste.

Tendo em vista as considerações anteriores, a carga térmica de radiação solar, ao longo do dia, para o caso em que o movimento do trem se dá do Sul em direção ao Norte, é representada pelo gráfico da Fig. (2):

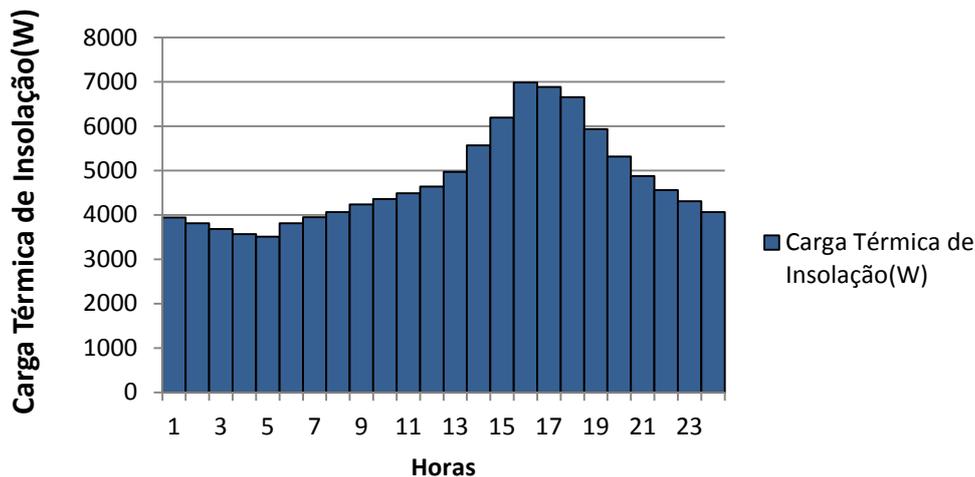


Figura 2 : Carga Térmica de Radiação Solar para movimento Sul → Norte do trem

### 4.3 Carga Térmica da geração interna de calor

A iluminação de um vagão e a sua ocupação por passageiros representam duas fontes de geração interna de calor. Para estudar a carga térmica oriunda dessas fontes, será definido um padrão para variação da quantidade de passageiros ao longo do dia, e por outro lado, a quantidade e a potência das lâmpadas utilizadas para a iluminação do vagão.

#### 4.3.1 Carga Térmica de ocupação

Para determinar a carga térmica resultante da ocupação do vagão, é preciso definir de que forma varia a quantidade de passageiros ao longo do dia. A variação do número de passageiros adotada pode ser vista na Tab. (3). São definidos picos de ocupação dentro de um dia, que ocorrem de manhã (entre 4h e 9h) e no fim da tarde (entre 16h e 20h), para considerar efeitos de lotação de passageiros nos períodos de rush.

Tabela 3: Quantidade de pessoas no vagão ao longo do dia

Hora	Ocupação do vagão		Total
	Pessoas sentadas	Pessoas de Pé	
1	60	0	60
2	60	0	60
3	60	0	60
4	60	150	210
5	60	200	260
6	60	200	260
7	60	200	260
8	60	200	260
9	60	150	210
10	60	150	210
11	60	120	180
12	60	120	180
13	60	120	180
14	60	150	210
15	60	150	210
16	60	200	260
17	60	200	260
18	60	200	260
19	60	200	260
20	60	200	260
21	60	150	210
22	60	0	60
23	60	0	60
24	60	0	60

Entre esses períodos de pico, foi considerado que a ocupação é um pouco menos intensa e fora desses períodos, a ocupação foi definida como sendo igual ao número de assentos do vagão. Vale ressaltar que os períodos de pico, assim como a quantidade máxima de passageiros nas condições de lotação, foram definidos de acordo com [4].

A distinção entre passageiros em pé e passageiros sentados é fundamental uma vez que o metabolismo do corpo humano é diferente para cada situação. Segundo a tabela 5.1, que apresenta valores de metabolismo para diversas atividades, o metabolismo de uma pessoa sentada é de 58 W/m<sup>2</sup>, e o metabolismo de uma pessoa em pé é de 70 W/m<sup>2</sup>. Como as tabelas fornecem a taxa de energia por área, é preciso estimar a área ocupada por um passageiro. Para este estudo, foi admitido que a área de superfície típica de uma pessoa é de 1,8 m<sup>2</sup>, conforme [10].0

Admitindo as considerações acima, a carga térmica resultante da ocupação foi calculada e é representada pelo gráfico da Fig.(3):

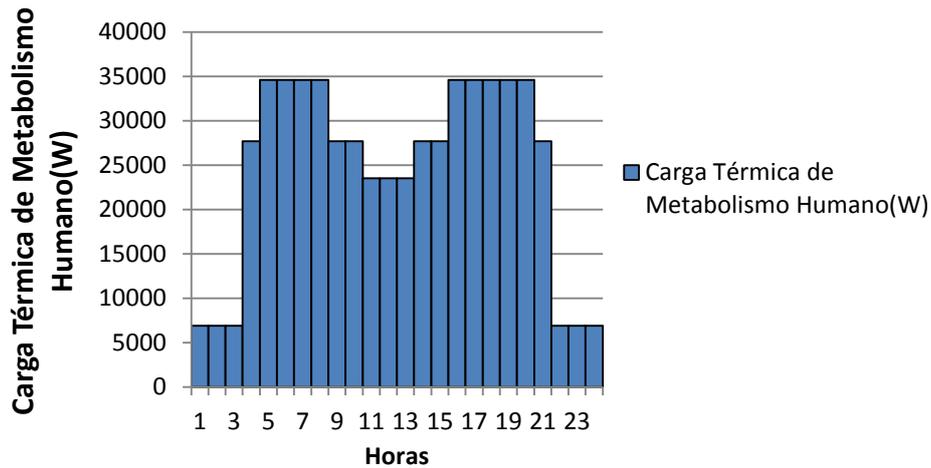


Figura 3 : Carga Térmica resultante da ocupação do vagão

#### 4.3.2 Carga Térmica de iluminação

De acordo com [4], a iluminação de um vagão de passageiros é feita por 30 lâmpadas de 40 W de potência cada. Considera-se que as lâmpadas ficam acesas durante toda a operação do trem. Fazendo as considerações acima, a carga térmica resultante da iluminação do vagão foi simplesmente estimada somando as potências de todas as lâmpadas. A relação utilizada é mostrada a seguir:

$$Q = n.P \quad [5]$$

Onde n é o número de lâmpadas e P é a potência de cada lâmpada. O gráfico da Fig. (4) representa a carga térmica resultante da iluminação do vagão.

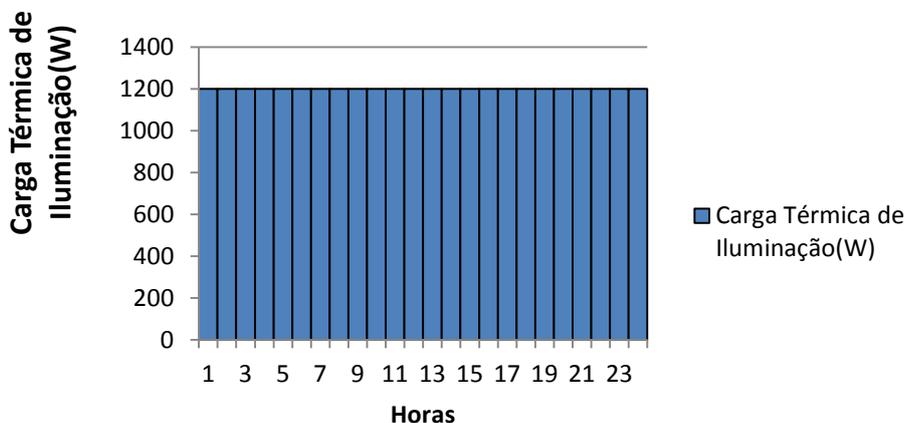


Figura 4 : Carga Térmica Resultante da Iluminação do Vagão

Vale ressaltar, observando o gráfico acima, que a carga térmica devida à iluminação é pequena em comparação à carga térmica devida ao metabolismo dos passageiros, não tendo, portanto, um peso importante na determinação da carga térmica total.

#### 4.4 Carga Térmica de Renovação do Ar

A penetração de ar externo afeta tanto a temperatura do ar quanto a sua umidade. O efeito sobre a temperatura é chamado de *calor sensível* e o efeito sobre a umidade é chamado de *calor latente*.

A carga térmica resultante da renovação do ar é oriunda da troca de ar com o meio externo por meio de ventilação. A vazão definida para a troca de ar é de  $27 \text{ m}^3 / \text{h}$  de ar de renovação por pessoa, de acordo com a norma ABNT [1]. A quantidade de pessoas consideradas, conforme visto anteriormente, é de 260 pessoas, que é a quantidade máxima de pessoas que ocupam o vagão de passageiros nos períodos de pico durante o dia.

Os efeitos de infiltração por frestas ou abertura de portas são desprezados uma vez que existe uma pressão positiva em relação ao exterior por conta da insuflação de ar para o interior do vagão, fazendo com que a perda de ar do vagão para fora seja maior do que a infiltração de ar.

O cálculo de carga térmica resultante da renovação do ar normalmente é dividido em duas parcelas (carga de renovação sensível e carga de renovação latente). As equações para o cálculo dessas parcelas, segundo [8], são apresentadas a seguir.

Equação para a carga térmica de renovação sensível:

$$Q_{r.sens} = \dot{m}_{ext} \cdot c_p \cdot (T_{ext} - T_{int}) \quad [6]$$

Onde  $\dot{m}_{ext}$  é a vazão de ar externo que penetra no ambiente ( $\text{kg}_{ar\ seco}/\text{s}$ ),  $c_p$  é o calor específico referido à massa de ar seco ( $\text{kJ}/\text{kg}_{ar\ seco} \cdot ^\circ\text{C}$ ),  $T_{ext}$  é a temperatura do ar externo ( $^\circ\text{C}$ ) e  $T_{int}$  é a temperatura do ar interno ( $^\circ\text{C}$ ).

Equação para carga térmica de renovação latente:

$$Q_{r.lat} = \dot{m}_{ext} \cdot L \cdot (\omega_{ext} - \omega_{int}) \quad [7]$$

Onde  $\dot{m}_{ext}$  é vazão de ar externo que penetra no ambiente ( $\text{kg}_{ar\ seco}/\text{s}$ ),  $L$  é o calor latente de vaporização da água líquida ( $L = 2,4535 \cdot 10^3 \text{ kJ}/\text{kg}$ ),  $\omega_{ext}$  é a umidade absoluta do ar externo ( $\text{kg}/\text{kg}_{ar\ seco}$ ),  $\omega_{int}$  é a umidade absoluta do ar interno ( $\text{kg}/\text{kg}_{ar\ seco}$ ).

Utilizando as relações matemáticas apresentadas nesta seção, foi possível determinar a carga térmica total de renovação do ar, que corresponde à soma das cargas de renovação sensível e latente. O gráfico da Fig. (5) mostra a variação desta carga térmica ao longo do dia:

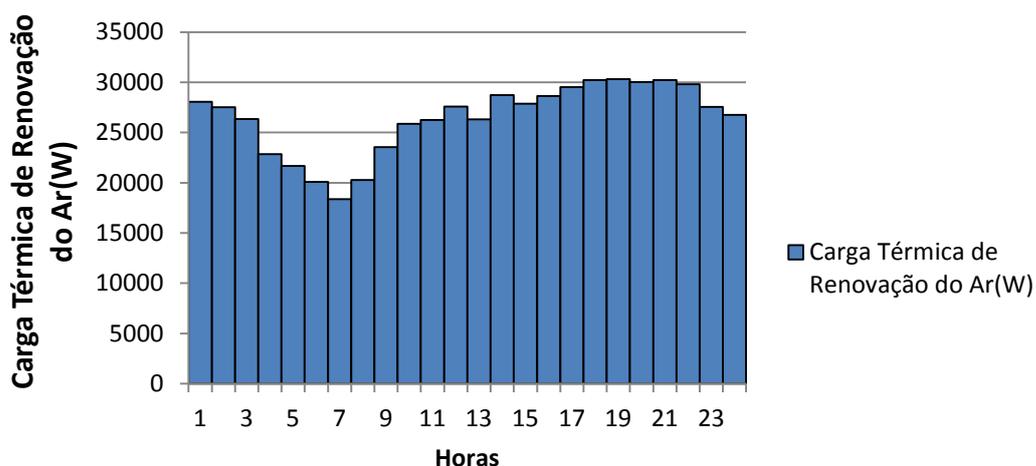


Figura 5 : Carga Térmica total de renovação do ar.

#### 5. Resultados Gerais do Cálculo de Carga Térmica

Após determinar separadamente os diferentes tipos de cargas térmicas, deve-se somá-las, de modo a obter uma distribuição da carga térmica total ao longo do dia, para que seja possível tirar conclusões que serão bastante úteis para o projeto de um sistema de ar condicionado. Para fins de cálculos de dimensionamento do equipamento de ar

condicionado, deve-se considerar a carga térmica máxima. Por outro lado, a variação da carga térmica ao longo do dia fornece uma idéia de como deve ser o funcionamento da unidade de ar condicionado ao longo do dia.

Ao efetuar a soma de todas as cargas térmicas calculadas anteriormente, obtém-se o gráfico da Fig. (6) que representa a distribuição da carga térmica total durante o dia.

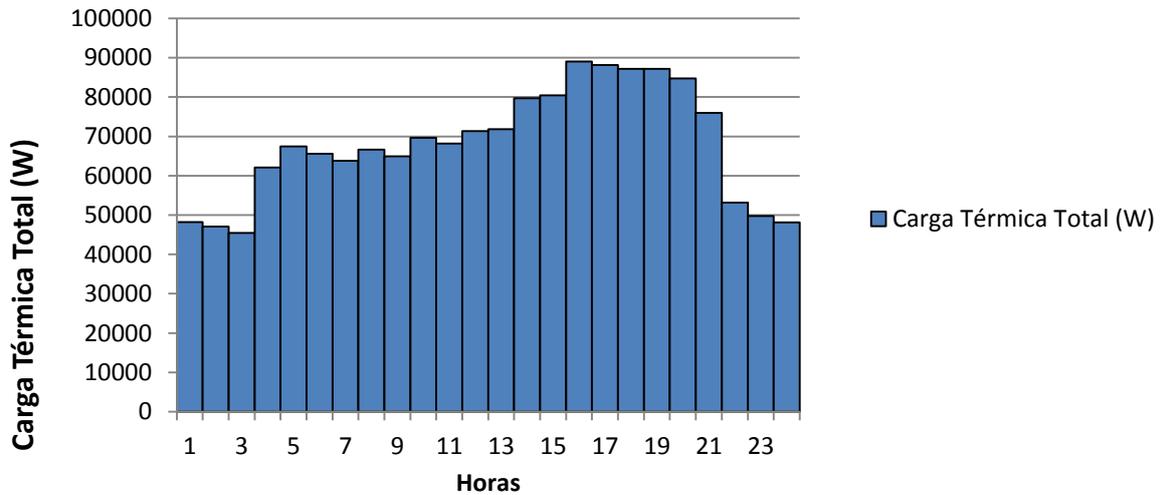


Figura 6 : Distribuição da carga térmica total ao longo do dia.

A distribuição total de carga térmica pode ser dividida em duas parcelas: a parcela correspondente à carga térmica sensível e a parcela correspondente à carga térmica latente. O gráfico da Fig. (7) representa essas duas distribuições:

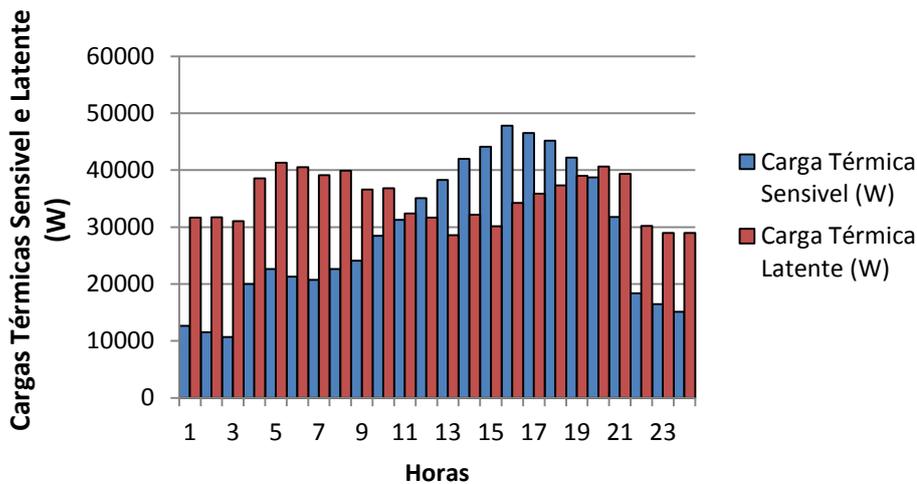


Figura 7 : Distribuição das Cargas Térmicas sensível e latente ao longo do dia

## 6. Determinação do equipamento de ar condicionado

Um sistema de ar condicionado deve ser capaz de remover calor e umidade de um determinado ambiente. O ar fornecido para o ambiente condicionado deve ser deficiente em entalpia e umidade para compensar adições de calor e umidade ao ambiente devido a fontes externas e internas. Uma representação simplificada de uma instalação de ar condicionado por ser vista a seguir:

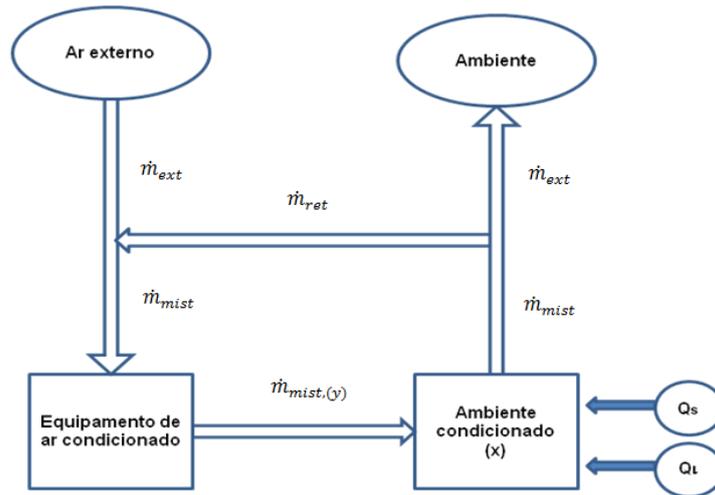


Figura 8 – Simplificação de uma instalação de ar condicionado.

A mistura de ar, após passar pelo equipamento de ar condicionado,  $\dot{m}_{mist,(y)}$ , deve penetrar no ambiente interno com temperatura e umidade menores em relação às condições que devem ser mantidas. As condições de temperatura e umidade desta mistura de ar devem, segundo [11], respeitar o seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} \dot{m}_{mist} \cdot (T_x - T_y) \cdot c_{p,mist} = Q_s \\ \dot{m}_{mist} \cdot (\omega_x - \omega_y) \cdot L = Q_l \end{cases} \quad [8]$$

Onde  $\dot{m}_{mist}$  é a vazão de ar insuflado no ambiente condicionado ( $kg_{ar\ seco}/s$ );  $T_x$  é a temperatura interna do ambiente condicionado ( $^{\circ}C$ );  $T_y$  é a temperatura do ar na saída do condicionador de ar ( $^{\circ}C$ );  $\omega_x$  é a umidade absoluta interna do ambiente condicionado ( $kg_{ar\ vapor}/kg_{ar\ seco}$ );  $\omega_y$  é a umidade absoluta do ar na saída do condicionador de ar ( $kg_{ar\ vapor}/kg_{ar\ seco}$ );  $c_{p,mist}$  é o calor específico da mistura de ar ( $kJ/kg \cdot ^{\circ}C$ );  $L$  é o calor latente de vaporização da água líquida ( $L = 2,4535 \cdot 10^3 kJ/kg$ );  $Q_s$  é a soma das cargas térmicas sensíveis ( $kW$ );  $Q_l$  é a soma das cargas térmicas latentes ( $kW$ ).

A potência de refrigeração que o equipamento de ar condicionado deve ter para transformar as condições ambientes nas condições internas de projeto é, segundo [11], dada por:

$$Q_{ref} = \dot{m}_{mist} \cdot (h_{mist} - h_y) \quad [9]$$

Onde  $h_{mist}$  é a entalpia da mistura do ar nas condições ambientes com o ar das condições de projeto ( $kJ/kg_{ar\ seco}$ );  $h_y$  é a entalpia do ar na saída do equipamento de ar condicionado ( $kJ/kg_{ar\ seco}$ ).

Por outro lado, a vazão de ar que deverá ser insuflado deve atender à seguinte relação [11]:

$$\dot{m}_{mist} = \frac{Q_{crit}}{(h_x - h_y)} \quad [10]$$

Onde  $Q_{crit}$  é a carga térmica total crítica ( $kW$ );  $h_x$  é a entalpia do ar no ambiente condicionado ( $kJ/kg_{ar\ seco}$ ).

Com base no cálculo de carga térmica e utilizando as relações acima, foram determinadas as condições principais de operação da unidade de ar condicionado. Os valores obtidos são mostrados na Tab.(4).

Portanto, equipamento de ar condicionado a ser instalado deve ter uma capacidade de 90,6 kW (ou 25,8 TR). Este valor é plausível, uma vez que a capacidade de refrigeração do sistema de ar condicionado de alguns trens subterrâneos modernos se situa em torno de 18 TR [12] e existem diversos fabricantes de equipamentos de condicionamento de ar que fornecem unidades com essa potência.

Utilizando as especificações obtidas, pretendeu-se escolher uma unidade compacta de ar condicionado para ser instalada no teto do vagão de passageiros. Muitas empresas fabricantes de equipamentos de ar condicionado oferecem serviços de determinação e instalação do sistema de ar condicionado, a partir das condições operacionais exigidas pela empresa cliente. Deste modo, as empresas responsáveis pela fabricação de trens, por exemplo, descrevem de forma detalhada quais são os requisitos do sistema de ar condicionado, indicando, por exemplo, quais são as condições externas e internas de projeto, qual deve ser a capacidade de refrigeração e quais são os valores das vazões de ar externo, de ar insuflado e de ar de retorno.

Tabela 4 – Condições de Operação do Equipamento de ar condicionado

Características da unidade AC			
PARÂMETROS	TERMOS	VALORES	REFERÊNCIAS
Condições do ar ambiente	$T_{ext}$ ( $^{\circ}C$ )	30,8	Tabela 1 (16h)
	$\phi_{ext}$ (%)	45,0	Tabela 1 (16h)
Condições do ar interno (vagão)	$T_x$ ( $^{\circ}C$ )	23,0	Item 3
	$\phi_x$ (%)	60,0	Item 3
Condições do ar insuflado	$T_y$ ( $^{\circ}C$ )	15,0	Calculado
	$\phi_y$ (%)	75,0	Calculado
Vazão de ar insuflado	$\dot{m}_{mist}$ ( $kg_{ar\ seco}/s$ )	5,0	Calculado
	$\dot{m}_{mist}$ ( $m^3/h$ )	15000,0	Calculado
Vazão de ar exterior	$\dot{m}_{ext}$ ( $kg_{ar\ seco}/s$ )	2,9	[1]
	$\dot{m}_{ext}$ ( $m^3/h$ )	8599,5	[1]
Vazão de retorno	$\dot{m}_{ret}$ ( $kg_{ar\ seco}/s$ )	2,1	Calculado
	$\dot{m}_{ret}$ ( $m^3/h$ )	6400,5	Calculado
Potência de Refrigeração	$Q_{ref}$ ( $kW$ )	93,2	Calculado
	$Q_{ref}$ ( $Btu/h$ )	318073,0	Calculado
	$Q_{ref}$ ( $TR$ )	26,5	Calculado

Podemos citar, por exemplo, a *Hitachi*, a *King* e a *Faiveley*, como empresas que fornecem serviços especializados de condicionamento de ar para aplicações ferroviárias. Portanto, após especificar quais devem ser as principais condições de operação do equipamento de ar condicionado adequado para uma determinada composição de carros, deve-se contatar essas empresas (ou possivelmente outras) para receber uma orientação ou sugestão de equipamento para as características obtidas.

O equipamento que foi escolhido para o modelo de trem estudado neste trabalho é fornecido pela Hitachi, empresa que oferece produtos e serviços para diversas aplicações de ar condicionado. A empresa possui uma divisão denominada “Hitachi – Rail” voltada para aplicações de condicionamento de ar em transportes ferroviárias.

O equipamento selecionado possui uma capacidade de refrigeração de 48,9W, sendo, portanto, a instalação de dois equipamentos por carro. Uma vista de topo do equipamento é mostrada a seguir:



Figura 9 – Unidade de ar condicionado de 48,9 kW – Hitachi[13]

## 7. Conclusões

O trabalho teve como objetivo determinar, a partir de cálculos de carga térmica, as condições operacionais principais do equipamento de ar condicionado para um vagão de passageiros de trem, para que fosse possível uma seleção apropriada de equipamento. Os fabricantes de trens geralmente fornecem os requisitos do sistema de ar condicionado para empresas especializadas em serviços de condicionamento de ar voltados para trens, que sua vez, enviam propostas de equipamentos.

O equipamento de ar condicionado selecionado para este estudo é adequado para o vagão de passageiros estudado, mas seria recomendável realizar um estudo mais abrangente, englobando outras possibilidades de unidades de ar condicionado, afim de ter outras opções de equipamentos para uma melhor seleção, o que não foi possível devido à ausência de resposta de determinadas empresas de ar condicionado.

## 8. Referências

- [1] ABNT NBR 16401-3. **Instalações de ar condicionado – sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior.** Primeira Edição. Rio de Janeiro, 2008.
- [2] TRIBESS, ARLINDO. **Conforto Térmico.** Apostila do curso de Conforto Térmico – disciplina PME2514. PME, EPUSP
- [3] GOULART, SOLANGE; LAMBERTS, ROBERTO; FIRMINO, SAMANTA. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras.** 2ª edição. Outubro 1998
- [4] KAKO, José Carlos Castilho. Chefe do Departamento de Manutenção do Material Rodante – DORE (CPTM)
- [5] FIORELLI, FLAVIO. **Cálculo de carga térmica de refrigeração para câmaras Frigoríficas.** São Paulo, 2010
- [6] INCROPERA; DEWITT; BERGMAN; LAVINE. **Fundamentos de transferência de Calor e de Massa.** Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- [7] SIMÕES MOREIRA, JOSÉ R.. **Ar Condicionado em trens.** Notas de aula do curso de extensão Tecnologia Metroferroviária, PECE, EPUSP, 2009.
- [8] ROBERTO F. J. , CARLOS. **Análise do sistema atual e projeto de um sistema central de ar condicionado para o palácio dos bandeirantes.** São Paulo, 2006
- [9] ASHRAE HANDBOOK. **Fundamentals.** Atlanta, 2005
- [10] Disponível: <[http://www.krueger-hvac.com/lit/pdf/therm\\_comf.pdf](http://www.krueger-hvac.com/lit/pdf/therm_comf.pdf)>. Acesso em 18/07/2011.
- [11] STOECKER; JONES. **Refrigeração e Ar condicionado.** São Paulo: McGraw-Hill, 1985
- [12] Disponível: <<http://tgvr.protem.org/phpBB3/viewtopic.php?f=81&t=4947>>. Acesso em 07/10/11.
- [13] Disponível: < <http://www.hitachi-rail.com/>> Acesso em 21/10/11.
- [14] SIMÕES MOREIRA, JOSÉ R.. **Fundamentos e aplicações da Psicrometria.** RPA Editorial. São Paulo.

## DESIGN AND SELECTION OF AN AIR CONDITIONING EQUIPMENT FOR A RAILWAY PASSENGER CAR

**Daniel Cadario de Azevedo Centini**

[daniel.cadario@gmail.com](mailto:daniel.cadario@gmail.com)

**Prof. Dr. José Roberto Simões Moreira**

[jrsimoes@usp.br](mailto:jrsimoes@usp.br)

*Abstract.* During the design of a train, it is very important to ensure the thermal comfort within the passenger wagon, especially for long displacements in summer hot days. This work consists in evaluating the cooling load inside a passenger wagon, in order to design the most appropriate air conditioning system that may ensure thermal comfort conditions for all the passengers.

*Keywords.* Air Conditioning, Thermal Comfort, Cooling Load, Refrigeration, Train