

avac – qualidade do ar interior

Carlos Barbosa

Departamento de Formação e Suporte Técnico da Vulcano

O condicionamento de ar é definido como o processo de tratar o ar, sendo este válido para o conforto humano ou de animais, bem como para o correto desempenho de processos industriais. Para o efeito, podem ser controladas em simultâneo as seguintes variáveis do ar:

- Temperatura;
- Humidade relativa;
- Limpeza;
- Distribuição.

O condicionamento do ar pode ser total ou parcial: é total quando todas as variáveis mencionadas são controladas e é parcial quando apenas são controlados os parâmetros temperatura e humidade. O conforto térmico é afetado pela temperatura e pela humidade relativa.

Um sistema de ar-condicionado deve proporcionar o controlo automático dos referidos parâmetros, tanto no verão como no inverno.

No verão, a temperatura é controlada através de um sistema de refrigeração e para reduzir a humidade podem ser utilizados desumidificadores. Normalmente, o ar é desumidificado ao passar pela superfície fria do evaporador do sistema de refrigeração.

No inverno, a temperatura é controlada por meio de fontes de calor. Se necessário, para o controlo de humidade poderão ser utilizados humidificadores para adicionarem humidade ao ar.

A filtragem do ar, em geral, é a mesma no verão e no inverno e os caudais mínimos de ar novo, estão definidos no anexo VI do Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios – RSECE).

A satisfação com o ambiente térmico pode também ser influenciada pelos seguintes parâmetros: temperatura devido à radiação, velocidade do ar, nível de atividade do ocupante e vestuário.

Conforto Térmico

O Artigo 14 do Decreto-Lei 80/2006 (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE) estabelece as seguintes condições ambientes de conforto de referência:

- Estação de aquecimento: temperatura do ar de 20° C;
- Estação de arrefecimento: temperatura do ar igual a 25° C e 50% de humidade relativa.

Por sua vez, a ADENE estabelece os seguintes parâmetros:

- Temperatura: 23 a 26° C (verão) e 20 a 24° C (inverno);
- Humidade relativa de 30 a 70%;
- Velocidade do ar inferior a 0,2 m/s.

No entanto, para além da temperatura do ar, também deve ser considerada a temperatura das paredes. Por exemplo, no inverno, com uma temperatura do ar de 20° C, uma pessoa sentirá frio se estiver num local com as paredes muito frias. Mas para o mesmo local, com a mesma temperatura do ar, essa pessoa irá sentir-se mais confortável se a temperatura das paredes estiver próxima da temperatura do ar.

O conforto térmico é definido pela Norma ISO 7730 como um estado psicológico que se traduz numa satisfação expressa pela temperatura ambiente. Pode-se dizer que um indivíduo se sente termicamente confortável quando, usando uma quantidade normal de roupas, não sente demasiado calor ou frio.

Entretanto, a sensação de conforto térmico é subjetiva, variando de indivíduo para indivíduo. Um determinado ambiente que apresente as condições de conforto térmico para uma pessoa, pode apresentar-se desconfortável para outra.

O objetivo é proporcionar um ambiente térmico, que garanta um bem-estar ao maior número possível de pessoas. Considera-se que um local apresenta os requisitos de conforto térmico, desde que a percentagem de ocupantes com sensação de desconforto não seja superior a 10%.

1. É possível prever o grau de satisfação dos ocupantes de um determinado recinto, através da percentagem de pessoas insatisfeitas ou "Percentagem Prevista de Insatisfeitos" – **PPD**:

$$PPD = 100 - 95 \times e^{(-0,03353 \times PMV^4 - 0,2179 \times PMV^2)}$$

2. **PPD** determina-se após conhecer o índice "Opinião Média Prevista" – **PMV**, que é uma escala que varia desde gelado até escaldante:

Sensação Térmica	PMV
Escaldante	+3
Quente	+2
Morno	+1
Neutro	0
Fresco	-1
Frio	-2
Gelado	-3

3. **PMV** está relacionado com o metabolismo **M** (W/m²) e com a acumulação de Calor **S** (W/m²), sendo os seus valores estimados pela seguinte expressão:

$$PMV = (0,303 \times e^{(-0,036 \times \text{Metabolismo})} + 0,028) \times S$$

- 3.1. Equação de conforto térmico:

$$S = \text{Metabolismo} - \text{Trabalho} - \text{Difusão de Vapor} - \text{Transpiração} - \text{Respiração}_{\text{latente}} - \text{Respiração}_{\text{sensível}} - \text{Radiação} - \text{Convecção}$$

3.1.1. Metabolismo e Trabalho

O **Metabolismo** corresponde à taxa de utilização de energia por unidade de área corporal e está relacionado com a atividade do corpo. A taxa de metabolismo é mínima quando o corpo está em repouso absoluto mas em vigília. A relação entre algumas atividades e o metabolismo é apresentada na Tabela seguinte.

Tipo de Atividade	Taxa de Metabolismo (W/m²)
Deitado	47
Sentado a descansar	58
Atividade sedentária	70
De pé, atividade leve	93
De pé, atividade média	117
Grande atividade	175

$$\text{Metabolismo} = \text{Taxa_de_Metabolismo} \times \text{Área}$$

- A área corporal (m^2) depende da altura (m) e do peso (kg) da pessoa, podendo ser determinada pela seguinte expressão:

$$\text{Área} = 0,202 \times \text{Altura}^{0,725} \times \text{Peso}^{0,425}$$

O **Trabalho** normalmente não se considera para a avaliação de conforto.

3.1.2. A Difusão de vapor está relacionada com a Pressão Parcial de Vapor de água contida no ar P_{vap} (Pa):

$$\text{Difusão_de_Vapor} = 3,05 \times 10^{-3} \times (5733 - 6,99 \times (\text{Metabolismo} - \text{Trabalho}) - p_{vap})$$

- A Pressão Parcial de Vapor de água contida no ar P_{vap} (Pa) depende da Humidade Relativa H_R (%) à temperatura T ($^{\circ}C$) considerada:

$$p_{vap} = H_R \times 1000 \times e^{\left(16,6536 - \frac{4030,183}{T + 235}\right)}$$

3.1.3. Transpiração

$$\text{Transpiração} = 0,42 \times ((\text{Metabolismo} - \text{Trabalho}) - 58,15)$$

3.1.4. Respiração latente

$$\text{Respiração_latente} = 1,7 \times 10^{-5} \times \text{Metabolismo} \times (5867 - p_{vap})$$

3.1.5. Respiração sensível

$$\text{Respiração_sensível} = 0,0014 \times \text{Metabolismo} \times (34 - T_{ar})$$

T_{ar} corresponde à temperatura de bolbo seco do ar (medida com um termómetro convencional).

3.1.6. Radiação

$$\text{Radiação} = 3,96 \times 10^{-8} \times f_{vest} \times ((T_{vest} + 273)^4 - (T_{rad} + 273)^4)$$

- O fator de vestuário f_{vest} é determinado em função da resistência térmica do vestuário I_{vest} (clo), sendo $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}C/W$.

$$f_{vest} = 1 + 1,290 \times I_{vest} \quad \text{para} \quad I_{vest} < 0,078 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}C/W$$

$$f_{vest} = 1,05 + 0,645 \times I_{vest} \quad \text{para} \quad I_{vest} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}C/W$$

A seguinte Tabela apresenta valores de resistência térmica I_{vest} orientativos, para alguns conjuntos de vestuário:

Conjunto de Vestuário	I_{vest} (clo)	I_{vest} ($m^2 \cdot ^{\circ}C/W$)
Nú	0	0
Calções	0,1	0,016
Calção, camisa manga curta e sandália	0,3	0,047
Calças, camisa manga curta, meias e sapatos	0,5	0,078
Fato de trabalho sem casaco	0,8	0,124
Traje de inverno para recinto interior	1,0	0,155
Traje de inverno	1,5	0,233
Traje de inverno c/ sobretudo, luvas e chapéu	2,0	0,310

- T_{rad} ($^{\circ}C$) é a temperatura média radiante, que afeta apenas as trocas de calor por radiação, sendo definida como a temperatura média das superfícies existentes no ambiente. Pode ser calculada através da seguinte expressão, sendo T_g ($^{\circ}C$) a temperatura lida num termómetro de globo e v_{ar} (m/s) a velocidade do ar:

$$T_{rad} = ((T_g + 273)^4 + 2,5 \times 10^8 \times v_{ar}^{0,6} \times (T_g - T_{ar}))^{1/4} - 273$$

- A temperatura do vestuário T_{vest} ($^{\circ}C$) é obtida por iteração através:

$$T_{vest} = T_{pele} - I_{vest} \times (3,96 \times 10^{-8} \times f_{vest} \times ((T_{vest} + 273)^4 - (T_{rad} + 273)^4) + f_{vest} \times h_c \times (T_{vest} - T_{ar}))$$

- Nesta expressão, T_{pele} ($^{\circ}C$) corresponde à temperatura da pele:

$$T_{pele} = 35,7 - 0,0275 \times (\text{Metabolismo} - \text{Trabalho})$$

- Para o cálculo dos coeficientes de convecção natural ou forçado h_c , é utilizada uma das seguintes expressões, consoante o caso:

$$\text{Convecção natural:} \quad h_c = 2,38 \times (T_{vest} - T_{ar})^{0,25}$$

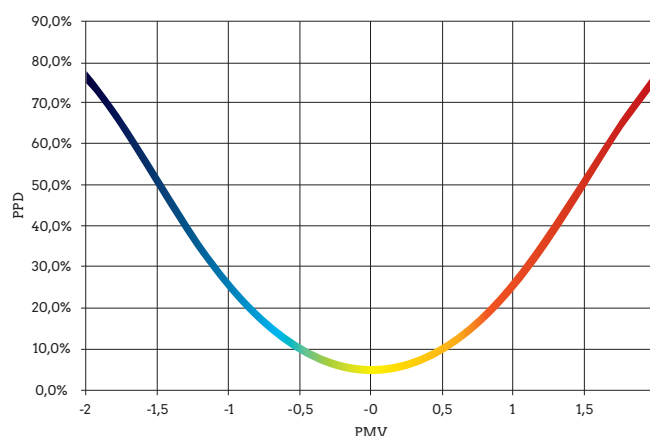
$$\text{Convecção forçada:} \quad h_c = 12,1 \times \sqrt{v_{ar}}$$

3.1.7. Convecção

$$\text{Convecção} = f_{vest} \times h_c \times (T_{vest} - T_{ar})$$

4. Representação gráfica

A representação gráfica de **PPD** é apresentada na Figura em baixo. De acordo com a ISO-7730, são aceitáveis ambientes em que **PMV** esteja situado entre -0,5 e 0,5, isto é, que a percentagem de ocupantes insatisfeitos não seja superior a 10%.



Funcionamento dos sistemas de ar-condicionado

Atualmente, os modernos equipamentos de ar-condicionado do tipo *split* permitem usufruir do conforto necessário durante todo o ano. Estes equipamentos são uma boa solução para a climatização de habitações, escritórios e pequeno comércio, pois reúnem várias vantagens, tais como:

- Facilidade e rapidez na instalação;
- Altas prestações;
- Maior eficiência energética;
- Níveis sonoros cada vez mais baixos;
- Facilidade na utilização;
- Estética cada vez mais elaborada, permitindo uma ótima integração.





A eficiência energética e as prestações são otimizadas em equipamentos do tipo *inverter*, já que estes possuem inversores eletrónicos de frequência, que permitem a adaptação às necessidades do utilizador, através da modulação da capacidade do compressor e dos ventiladores. Perante baixas necessidades energéticas, os compressores trabalham em baixos regimes, permitindo um aumento do E.E.R. (relação entre capacidade de refrigeração e energia elétrica fornecida ao aparelho, tipicamente acima de 3,5) ou do C.O.P. (relação entre calor útil produzido e energia elétrica consumida, tipicamente 4), consoante o funcionamento, frio ou calor.

Estes equipamentos geralmente possuem 5 modos de funcionamento que poderão trabalhar, segundo o fabricante, de acordo com a seguinte descrição:

- **Arrefecimento:** a válvula de 4 vias não é alimentada eletricamente e a unidade interior funciona como evaporador; O utente seleciona a temperatura desejada e o equipamento trabalha enquanto a temperatura ambiente for superior à temperatura desejada;
- **Desumidificação:** a válvula de 4 vias não é alimentada eletricamente e a unidade interior funciona como evaporador, trabalhando o ventilador da unidade interior em baixa velocidade;
- **Aquecimento:** neste modo, o equipamento trabalha em *bomba de calor* - a válvula de 4 vias é alimentada eletricamente, estando a unidade interior com a função de condensador;
- O utente seleciona a temperatura desejada e o equipamento trabalha enquanto a temperatura ambiente for inferior à temperatura desejada;
- **Ventilação:** o compressor está parado e apenas trabalha o ventilador da unidade interior;
- **Automático:** o equipamento arranca em aquecimento se a temperatura ambiente for menor do que 20° C ou arranca em arrefecimento se temperatura ambiente for superior a 25° C. Em ambos os casos, a paragem ocorre aos 23° C.

Para além dos referidos modos de funcionamento, estes equipamentos poderão ainda dispor de funções especiais, tais como temporização e auto-adaptação da temperatura desejada em função do metabolismo (por exemplo, função *sleep*) que consiste na diminuição ou aumento da temperatura regulada, em 1° C por cada hora de funcionamento. Os equipamentos podem ser do tipo *mono-split* ou *multi-split*. No primeiro caso, o sistema é composto apenas por uma unidade interior e respetiva unidade exterior. No segundo caso, várias unidades interiores ligam com uma única unidade exterior contendo apenas um compressor, tal como se pode observar na Figura seguinte.

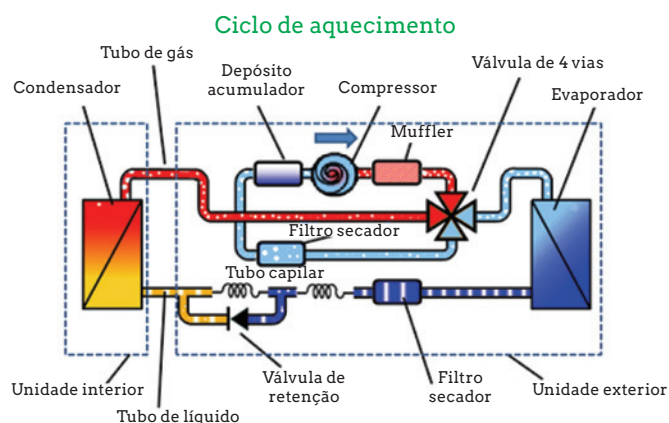
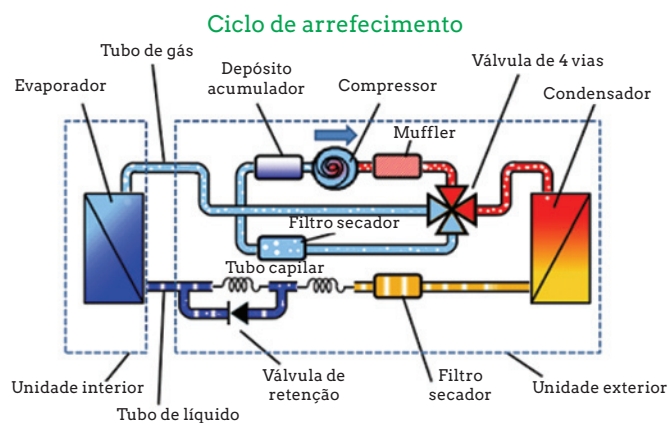


No circuito frigorífico circula fluido frigorígeno, "bombeado" pelo compressor, que passa por 4 fases:

- **Evaporação:** entra líquido no evaporador em baixa pressão, que absorve calor latente do ambiente, passando então à fase de vapor. Como consequência, o evaporador arrefece;

- **Compressão:** o compressor comprime o gás em baixa pressão, proveniente do evaporador. Este sofre um aumento de temperatura, sendo posteriormente descarregado no condensador em alta pressão;
- **Condensação:** entra gás no condensador em alta pressão, que liberta calor latente no ambiente, passando então à fase líquida. Como consequência, o condensador aquece;
- **Expansão:** o dispositivo responsável por este processo pode ser uma válvula de expansão ou um tubo capilar. O objetivo é alimentar o evaporador com a quantidade necessária de fluido, mantendo assim uma pressão de ebulição correspondente à temperatura desejada.

O funcionamento do sistema *split*, nos dois modos de funcionamento, é ilustrado nas Figuras seguintes:



Pessoal técnico

1. Decreto-Lei n.º 79/2006 - RSECE

A instalação e manutenção dos sistemas de climatização abrangidas pelo Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios - RSECE), deve ser assegurada por técnicos credenciados, segundo a potência da instalação:

- Até 100 kW: técnico de instalação e manutenção credenciado como TIM II, juntamente com um Técnico da Qualidade do Ar Interior (TQAI);
- Acima de 100 kW: técnico de instalação e manutenção credenciado como TIM III, com especialização em Qualidade do Ar Interior.

2. Decreto-Lei n.º 56/2011 – Gases Fluorados com efeito de estufa

Os técnicos que intervêm em determinados equipamentos com f-gases (gases fluorados com efeito de estufa), devem possuir qualificações técnicas estabelecidas por regulamentação Europeia e legislação nacional. A instalação de uma unidade do tipo *split*, implica sempre a certificação por parte do técnico instalador, já que este intervém no circuito frigorífico durante a instalação, independentemente da carga de gás que o equipamento possua.