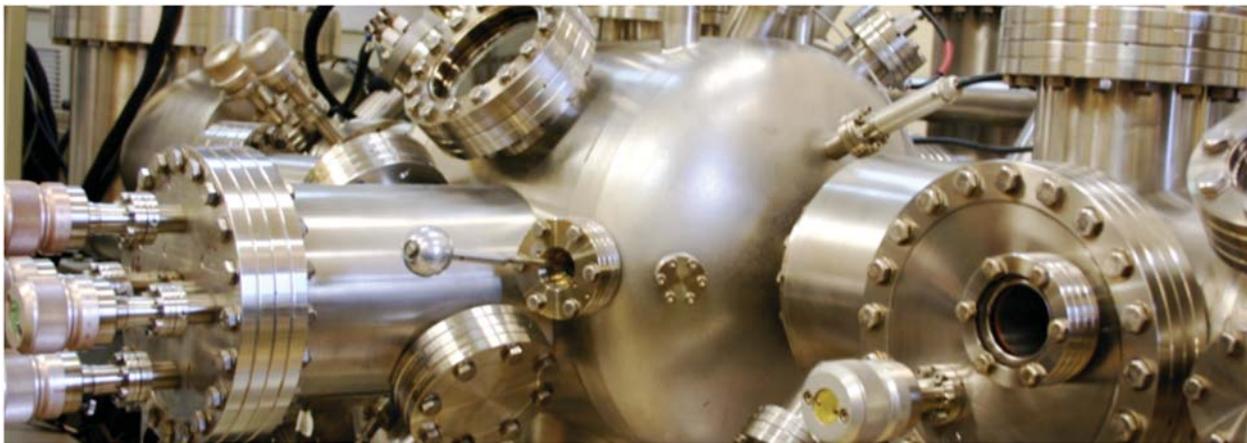


# Técnica

## O Vácuo em Sistemas de Ar Condicionado

► **Autoria:** Orlando M.N.D. Teodoro

Director do METROVAC (Laboratório de Tecnologia e Metrologia de Vácuo)  
e Professor da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa



O METROVAC tem uma ampla experiência em detecção de fugas e em tecnologia de alto e ultra-alto vácuo

### INTRODUÇÃO

O vácuo é usado sempre que é necessário um ambiente ou um espaço 'limpo'. Tem de ser um espaço livre dos gases que possam interferir com a aplicação que está em causa. Por exemplo, considere um tubo de raios-X, como os utilizados em radiologia industrial ou médica. Se os gases não forem retirados do interior do tubo, os electrões usados na produção da radiação são bloqueados e impedidos de chegar ao alvo pelas moléculas desse gás, não havendo emissão de radiação.

Um determinado volume diz-se em vácuo quando a sua pressão é inferior à que se encontra na atmosfera a pressões e temperaturas normais. Existem vários graus de vácuo, conforme está ilustrado na Fig.1. As diferentes aplicações relacionam-se com as propriedades que os gases revelam a determinadas pressões. Visto que não é possível retirar completamente todo o gás do interior de um volume, o grau de vácuo é produzido em função da necessidade específica da aplicação em vista. Aliás, a ideia que vácuo é igual a vazio ou a ausência de gás é errada, conforme é evidenciado pelos valores de concentração indicados no lado direito da Fig.1.

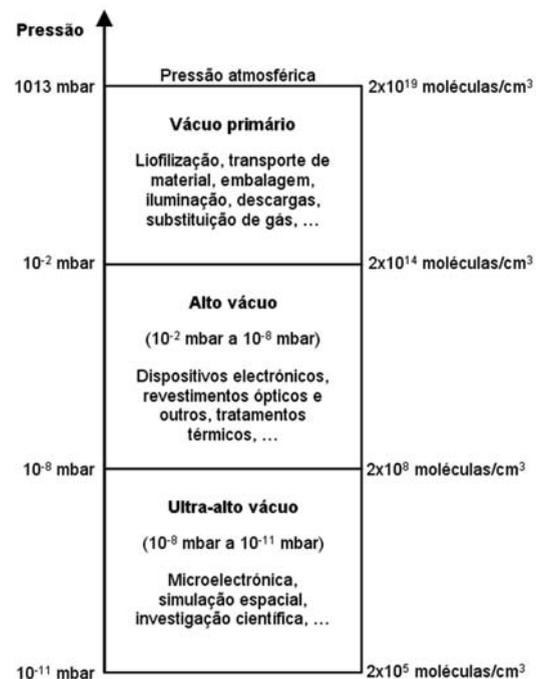


Figura 1 - Principais graus de vácuo densidade do gás residual e aplicações

Nas aplicações relacionadas com a indústria de ar condicionado as pressões envolvidas são geralmente classificadas na gama do vácuo primário ou do alto vácuo. A geração de vácuo nestes sistemas tem basicamente os seguintes objectivos:

- Substituição de gás;
- Remoção da humidade no interior do circuito de frio;
- Ensaio de estanquidade e detecção de fugas.

O objectivo mais óbvio é a substituição do ar existente no interior do circuito pelo gás refrigerante. A concentração de impurezas pode ser controlada através da razão da pressão produzida (vácuo), com a pressão de enchimento. Por exemplo, o bombeamento do circuito a 0,1 mbar e o conseqüente enchimento a 5 bar resultará numa concentração de impurezas (ar) de 20 ppm (partes por milhão). No entanto, este cálculo só é válido se assumirmos que não existiam contaminantes na fase líquida dentro do circuito. Para bombearmos os líquidos precisamos de atingir pressões inferiores à sua tensão de vapor. Por exemplo, para retirarmos a água, precisamos de bombear o sistema a pressões inferiores a 23 mbar se estiver a 20°C. Mas o bombeamento de voláteis tem problemas. Ao evaporarem, os líquidos arrefecem e tornam-se cada vez mais difíceis de bombear. Além disso, por exemplo, apenas 18 g de água correspondem a 22,4 L de gás à pressão atmosférica, ou seja, a 2240 L a 10 mbar! O segundo objectivo, a limpeza interior dos circuitos de frio, é assim bastante mais difícil de atingir. O processo pode ser acelerado se o circuito for ligeiramente aquecido pelo exterior, promovendo assim a mudança de fase dos condensados que estejam no interior. Ainda outra dificuldade acrescida é a baixa condutância (medida da facilidade de escoamento) da maior parte dos circuitos de frio que dificultam em muito o bombeamento em tubos de secção reduzida.

O terceiro objectivo da geração de vácuo está relacionado com testes de qualidade do equipamento e é frequentemente realizado no final das linhas de produção. Pode ser realizado a componentes individualmente - por exemplo a compressores - ou a todo o circuito. Este aspecto será desenvolvido mais adiante.

## GERAÇÃO DE VÁCUO

As bombas utilizadas com mais frequência são bombas mecânicas do tipo compressor invertido, designadas frequentemente de bombas rotativas. Estas bombas podem ter um ou dois estágios, ou seja um ou dois compressores em séries. O gás é aspirado do volume a bombear, comprimido, e depois expelido para a atmosfera. As bombas de dois estágios podem ser usadas para gerar pressões de trabalho até 10-2 mbar. Quando estas bombas evacuam sistemas com muitos gases condensáveis, tipicamente água, pode acontecer que a

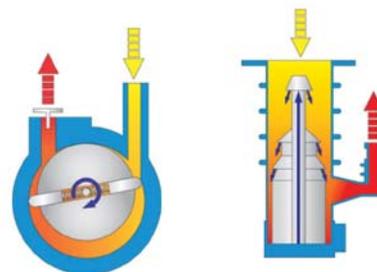


Figura 2 - À esquerda, bomba rotativa permite obter pressões da ordem  $10^{-2}$  mbar. À direita, bomba difusora usada para a geração de alto-vácuo.

água condense dentro da bomba, comprometendo o seu desempenho a médio prazo. Por este motivo, é frequente possuírem uma entrada de gás ajustável (balastro) perto da zona de exaustão, para que a eventual condensação seja arrastada para o exterior. No entanto, quando o balastro está aberto, a pressão mínima possível de obter não é tão baixa como quando o balastro está fechado.

Para pressões inferiores a  $10^{-2}$  mbar, quase invariavelmente têm de ser usadas duas bombas em série. As bombas utilizadas nestas gamas de pressão (alto-vácuo) são de outro tipo, por vezes bastante diferente. Por exemplo, nas bombas difusoras produzem-se jactos de vapor de óleo que 'empurram' as moléculas do gás a bombear em direcção à saída da bomba. Esse ponto da bomba é mantido a uma pressão de pelo menos  $10^{-1}$  mbar por uma bomba rotativa. Os óleos usados têm de ter tensões de vapor muito baixas para limitar a sua migração para o volume a bombear. Com estas duas bombas em série, é possível obter pressões até  $10^{-7}$  mbar ou menos.

As bombas turbo-moleculares são cada vez mais usadas para gerar alto-vácuo. Estas bombas consistem numa turbina que roda a uma velocidade que pode atingir 90 000 rpm, comprimindo o gás e entregando-o a outra bomba que opera na ordem de  $10^{-1}$  mbar. Estas bombas têm a vantagem de produzirem um vácuo 'mais limpo' sem os vapores de óleo libertados pelas bombas difusoras. São usadas muitas outras bombas nesta gama de pressão, das quais referem adicionalmente as bombas iónicas e as bombas criogénicas. No entanto, a sua descrição está para além do objectivo deste artigo.

## MEDIDAS DE BAIXAS PRESSÕES

Embora a pressão seja frequentemente medida em relação à atmosfera (pressão relativa), existem bons motivos para que seja sempre feita de uma forma absoluta. Apenas desta forma é possível obter uma medida da quantidade de gás presente dentro de um determinado volume. A razão tem a ver com o facto de a pressão atmosférica não ser constante — varia com a altitude e é diferente com bom ou mau tempo. Assim, é impossível controlar baixas pressões se estas não forem medidas em valor absoluto.

Os medidores mais comuns são do tipo electromecânico, como os manómetros Bourdon, de membrana ou piezo-eléctricos. Nos primeiros dois, a deflexão de um elemento elástico produz uma medida directa da pressão. Nos piezo-eléctricos, em geral é a variação da frequência de oscilação do elemento sensor que permite obter a pressão (na ausência de gás a frequência aumenta).

Em muitas aplicações é necessário medir valores de pressão inferiores a 1 mbar. Por isso, é muito frequente os medidores de vácuo apresentarem escalas logarítmicas permitindo fazer boas leituras próximas do zero absoluto. Neste caso, as medidas de pressão são quase sempre indirectas, por exemplo medindo uma propriedade do gás que varie no intervalo de pressão que se pretende medir. Casos típicos são os vacuómetros do tipo *pirani* ou termopar. Estes vacuómetros medem a capacidade que o gás tem para arrefecer um filamento quente. Quanto menor a pressão, menor a capacidade do gás de arrefecer esse filamento. Estes medidores são muito usados entre 100 mbar e 10<sup>-3</sup> mbar.

Para pressões inferiores é frequente a utilização de manómetros de ionização. Estes vacuómetros medem a corrente eléctrica resultante da ionização do gás, cuja pressão se pretende medir. Quanto menor a pressão menos iões são produzidos, resultando numa menor corrente eléctrica. Medidores deste tipo são facilmente encontrados para pressões até 10<sup>-11</sup> mbar.

Visto que os vacuómetros para pressões inferiores a 1 mbar medem propriedades dos gases a baixa pressão (a condutibilidade térmica ou probabilidade de ionização) a sua medida depende do tipo de gás usado. Normalmente são calibrados para o azoto, podendo ser aplicado um factor de conversão para se obter o gás em uso. A sua recalibração frequente (anual) é importante, de modo a garantir o seu bom desempenho.

## DETECÇÃO DE FUGAS

A detecção de fugas nos circuitos de frio é cada vez mais importante, tendo em conta as crescentes preocupações ambientais relacionadas com a destruição da camada de ozono dos gases outrora usados e do efeito de estufa produzido pelos gases actualmente em uso. A legislação é cada vez mais rigorosa neste sentido e está para breve a aplicação do regulamento comunitário 842/2006 que estabelecerá a inspecção periódica a todos os equipamentos com mais de 3 kg de gases halogenados.

O ensaio de estanquidade mais conhecido é o de variação de pressão. O circuito a testar é pressurizado (ou evacuado) e se não se registar uma variação da pressão com o tempo, o sistema poderá ser aprovado. No caso de se registar uma variação da pressão, o uso de um líquido surfactante (por ex. mistura de água e sabão)

Fluxo de R12 (g/ano)	Teste da bolha (tempo para formar 1 bolha)	Taxa de fuga com He (mbar.L/s)	Taxa de fuga equivalente para ar (mbar.L/s)
300	13 s	1,8 x 10 <sup>-3</sup>	6,7 x 10 <sup>-4</sup>
90	44 s	5,5 x 10 <sup>-3</sup>	2,0 x 10 <sup>-4</sup>
30	133 s	1,8 x 10 <sup>-4</sup>	6,7 x 10 <sup>-5</sup>
15	266 s	9,0 x 10 <sup>-5</sup>	3,3 x 10 <sup>-5</sup>
3	22,2 min	1,8 x 10 <sup>-5</sup>	6,7 x 10 <sup>-6</sup>
0,3	222 min	1,8 x 10 <sup>-6</sup>	6,7 x 10 <sup>-7</sup>

Nota: Os fluxos foram calculados assumindo fluxos em regime molecular e com condições de ensaio semelhante.

Tabela 1 — Equivalência de taxas de fuga

permitirá a localização da fuga para posterior reparação.

Visto que não existem volumes completamente estanques, a sua estanquidade deve ser caracterizada quantitativamente através do máximo fluxo de fuga tolerável num sistema. Uma fuga de 1 mbar.L/s é o fluxo que faz aumentar 1 mbar a pressão num volume de 1 litro em 1 segundo. Os requisitos para circuitos frigoríficos são fluxos de fugas da ordem de 10<sup>-5</sup> mbar.L/s (<3 g de fluido R12 por ano). Como é evidente na tabela 1, o método da bolha não é sensível para cumprir este requisito.

Assim, uma aplicação importante da tecnologia de vácuo na indústria de refrigeração é a detecção de fugas por espectrometria de massa com gás sinalizador. Neste método, usa-se um espectrómetro de massa sintonizado na massa do hélio, que é usado como gás sinalizador ou de teste. O hélio existe numa concentração muito baixa na atmosfera. Não é tóxico, é muito miscível, relativamente barato e quimicamente inerte. Por conseguinte, seguro em qualquer ambiente.

Um detector de fugas deste tipo usa um sistema de bombeamento de alto vácuo para garantir uma pressão inferior a 10<sup>-5</sup> mbar na zona do espectrómetro de massa. Através de várias válvulas e ligações de muito baixa condutância, uma amostra do gás a testar chega ao espectrómetro de massa. Se essa amostra contiver hélio (massa 4) ele é detectado e uma medida quantitativa do fluxo é fornecida pelo equipamento.

Estes detectores de fugas podem ser calibrados em valores absolutos com fugas calibradas. Estas fugas geram um fluxo constante e estável de valor conhecido, que é obtido por calibração exterior num laboratório de calibração. O limite de detecção destes detec-



Figura 3 - Localização de fugas com sniffer. O gás sinalizador que sai pela fuga é facilmente identificado pelo detector.

tores atinge facilmente valores inferiores a  $10^{-10}$  mbar.L/s, um valor muito inferior ao necessário para a maioria das aplicações e que é impossível de atingir por outros métodos de detecção de fugas.

Os testes podem ser realizados de 2 modos básicos:

- O hélio é introduzido dentro do circuito ou componente a testar (inside-out);
- O lado de fora do componente é exposto ao hélio por pulverização ou dentro de uma câmara, e a detecção faz-se pelo lado interior (outside-in).

Quando o hélio é introduzido dentro do circuito, usa-se uma *sniffer* (cheirador) para localizar as fugas. Esta *sniffer* aspira uma pequena quantidade de gás para dentro do detector de fugas. Quando o hélio é detectado, é imediatamente assinalado. Para se obter uma avaliação total das taxas de fuga em todo o circuito, o teste é efectuado dentro de uma câmara evacuada. O fluxo total de hélio de dentro para fora é medido, sendo que este valor pode ser usado para teste de conformidade ou de aceitação. O fluxo de hélio pode ser convertido num fluxo equivalente de outro gás, conforme se exemplifica na Tabela 1.

Quando o interior do circuito é evacuado e ligado ao detector de fugas, as fugas podem ser localizadas pulverizando hélio no exterior. Quando se pulveriza sobre uma fuga, o detector responde rapidamente com um valor indicativo da fuga. Para a sua quantificação, todo o exterior do circuito deve ser envolvido por hélio com uma concentração conhecida. Neste caso, o detector indicará a taxa de fuga total, cujo valor também poderá ser usado para testes de aceitação.

O método inside-out tem algumas vantagens em relação ao segundo. Visto que os circuitos frigoríficos têm frequentemente tubos com secção reduzida, não é fácil produzir vácuo em todo o volume interior. Além disso, o circuito poderá conter óleos pouco compatíveis com vácuo. Mas, se o hélio for introduzido no interior, este espalha-se muito facilmente através de todo o circuito. E fazer vácuo do lado exterior não é difícil. Basta usar uma câmara apropriada e, eventualmente, um sistema de bombeamento auxiliar.

## O METROVAC - LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA E METROLOGIA DE VÁCUO

Em resultado da experiência de mais de 20 anos na área do vácuo, a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa criou o laboratório de tecnologia e metrologia de vácuo — o METROVAC. Com este laboratório, pretende-se disponibilizar experiência e saber nesta área à comunidade industrial do País. Pretende-se também contribuir para que a indústria nacional possa diminuir a sua tradicional dependência tecnológica do estrangeiro, tanto na área da metrologia

como em consultoria e projecto.

O METROVAC é o único laboratório de calibrações acreditado pelo IPAC (Instituto Português de Acreditação) para a calibração de vacuómetros até  $10^2$  mbar e aguarda a acreditação para pressões até  $10^{-6}$  mbar.



Figura 4 - Câmara de calibração de vacuómetros em conformidade com a ISO 3567:2005

Os principais serviços que oferece são:

1. Calibração de vacuómetros entre 1300 mbar e  $10^{-6}$  mbar de acordo com a ISO TS 3567:2005.
2. Calibração de manómetros de pressão absoluta, relativa e diferencial entre -1 e + 30 bar.
3. Calibração de fugas calibradas de hélio entre  $10^{-5}$  mbar.L/s e  $10^{-9}$  mbar.L/s de acordo com 13192:2001.
4. Ensaios de estanquidade de acordo com a EN 13185:2001.
5. Análise de gases pró espectrometria de massa.
6. Projecto e desenvolvimento de processos baseados em vácuo, em particular sistemas de detecção de fugas por espectrometria de massa com gás sinalizador.
7. Consultoria em tecnologia de vácuo e aplicações.

Os ensaios de estanquidade podem ser realizados dentro ou fora das instalações do laboratório. Estes ensaios e a calibração de fugas também aguardam a acreditação pelo IPAC.

O METROVAC está também a preparar-se para poder satisfazer os desafios que o novo regulamento comunitário 842/2006 vai trazer à indústria de refrigeração e de ar condicionado. Para esse fim, irá instalar um sistema de qualificação de detectores de fugas de gases halogenados (para poderem ser usados em inspeções periódicas), calibrar fugas destes gases, e oferecer serviços de inspeção com equipamento topo de gama que permita também a identificação do tipo de gás.

Embora a tecnologia de vácuo seja uma área aparentemente muito específica, encontra aplicações em muitas indústrias. E existe conhecimento e experiência em Portugal capaz de satisfazer a maior parte das necessidades da indústria nacional, sendo um contributo para a sua modernização, para a sua independência tecnológica e para a melhoria da qualidade dos seus produtos.