



manual do ar comprimido

METALPLAN

7ª EDIÇÃO

CARTA AO LEITOR

Compreender as necessidades do mercado e traduzi-las em produtos e serviços inovadores, reconhecidos pela sua qualidade e desempenho, tem sido um processo permanente na história da Metalplan.

Um exemplo desse pioneirismo foi o lançamento, há mais de trinta anos, do primeiro purgador eletrônico do Brasil, assim como o primeiro purgador eletrônico temporizado digital do mundo.

O empenho contínuo em oferecer soluções que representam o máximo de economia, sob todos os aspectos, está sintetizado em nossa missão;

“Eficiência máxima em energia e fluidos”

Esse Manual é um testemunho dos nossos valores e do nosso compromisso pela difusão das melhores práticas envolvendo o uso racional do ar comprimido.

Boa leitura.



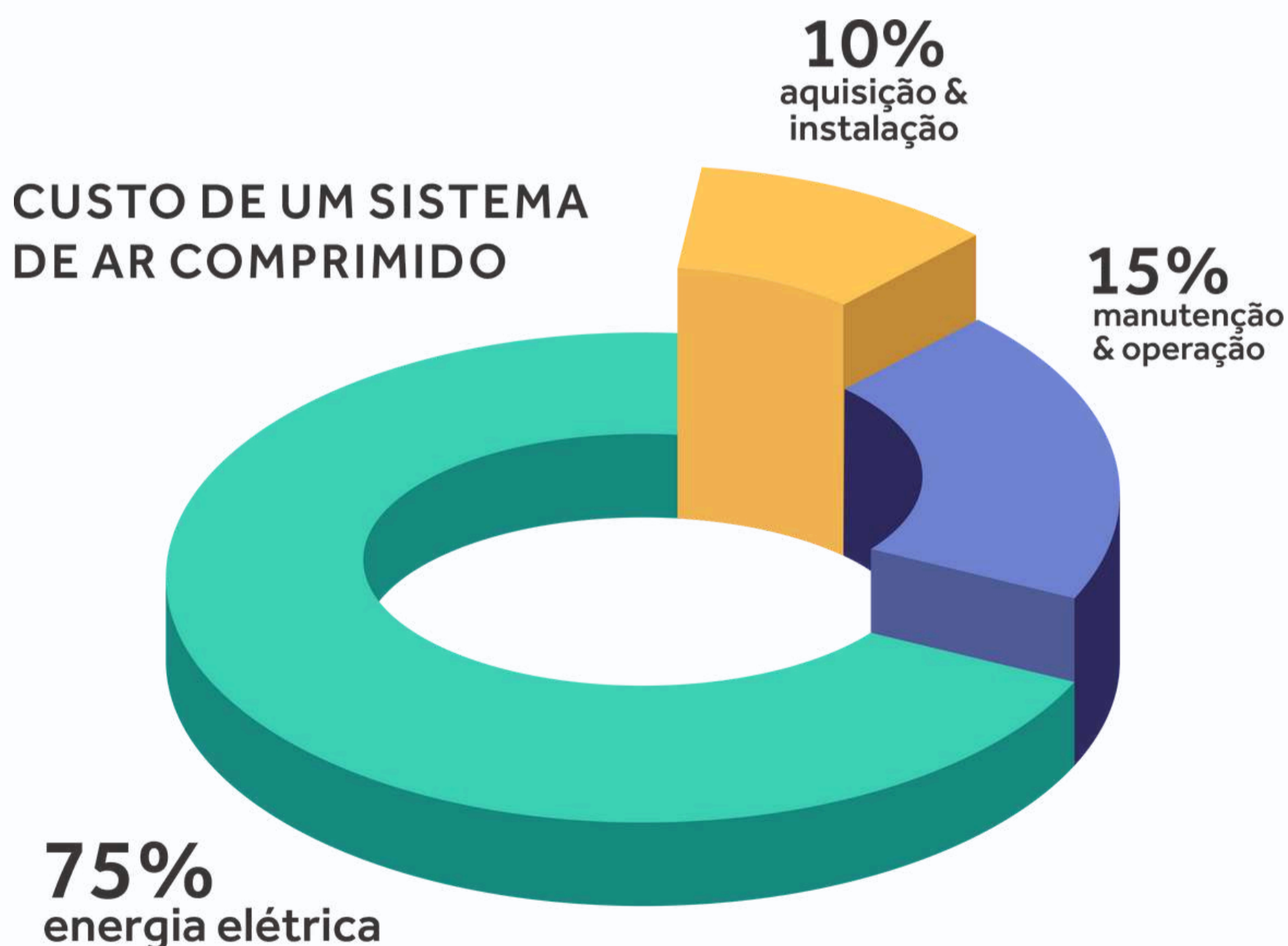
Índice

PREFÁCIO	4
E POR FALAR EM ENERGIA	6
• Vazamento de ar comprimido	8
• Perda da carga (queda de pressão)	9
• Temperatura de admissão do ar	10
OS EQUIPAMENTOS DE UM SISTEMA DE AR COMPRIMIDO	11
GERAÇÃO DE AR COMPRIMIDO	12
• A sala dos compressores	12
• O compressor de ar	13
• Quantidade de compressores	17
TRATAMENTO DE AR COMPRIMIDO	18
• Norma ISO-8573-1	19
OS COMPONENTES DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE AR COMPRIMIDO	21
• O resfriador-posterior	21
• O filtro de ar comprimido	22
• O secador de ar comprimido	28
• O secador por refrigeração	29
• O secador por adsorção	31
ARMAZENAMENTO DE AR COMPRIMIDO	35
• Para compressores de pistão	35
• Para compressores rotativos	36
DISTRIBUIÇÃO DE AR COMPRIMIDO	38
INSTITUCIONAL	41
BIBLIOGRAFIA	44

Prefácio

À medida que as exigências dos usuários evoluem, altera-se o conceito de eficiência de um sistema de ar comprimido. Em poucos anos, as preocupações com produtividade e qualidade expandiram-se para a racionalização do consumo de energia e atingiram o estágio em que se encontram muitas empresas, focados na busca incansável pelo menor custo de um sistema de ar comprimido, que propõe equacionar as variáveis relativas à posse e controle, quais sejam: aquisição, instalação, operação e manutenção.

Num período de trabalho de aproximadamente dez anos, o custo de um sistema de ar comprimido terá respeitado as seguintes proporções aproximadas. (Vide gráfico abaixo).



Nesse período, esse sistema poderá ter operado continuamente por até 80 mil horas. A título de comparação, um automóvel, nesses mesmos dez anos, não terá rodado mais do que 10 mil horas, em média.

No entanto, nossa proposta é avançar um passo adiante e considerar, além dos custos, outros dois aspectos frequentemente relegados nos projetos de um sistema de ar comprimido: a integridade física de pessoas e ativos e o respeito ao meio ambiente.

Quando destacamos a questão da segurança, estamos reforçando o princípio de que o usuário deverá estar atento para que todas as exigências legais, bem como aquelas ditadas pelo bom senso, sejam cumpridas. Normas de projeto, fabricação e testes de equipamentos e instalações devem ser respeitadas. Nos casos onde a legislação for omissa, as melhores práticas deverão ser aplicadas.

Afinal, não são poucos os acidentes relacionados com o ar pressurizado, incluindo muitos casos fatais.

Com relação ao meio ambiente, um sistema de ar comprimido eficiente e consciente é aquele que gera o menor nível possível de contaminação capaz de afetar a natureza.

A combinação equilibrada de todos esses parâmetros é um dos objetivos desse manual, fornecendo subsídios atualizados para a tomada das decisões corretas por parte dos usuários.



E por falar em energia...

O ar comprimido é uma importante forma de energia, insubstituível em diversas aplicações e resultado da compressão do ar ambiente, cuja composição é uma mistura de oxigênio (~20,5%), nitrogênio (~79%) e alguns gases raros.

Os compressores industriais são responsáveis por cerca de 10% do consumo total de energia elétrica na indústria mundial.

Considerando o consumo industrial global de energia elétrica, que foi de aproximadamente 10000 TWh (terawatts-hora) em 2021, os compressores industriais consumiram cerca de 1000 TWh, ou 1.000.000 GWh (IEA) (EIA Homepage).

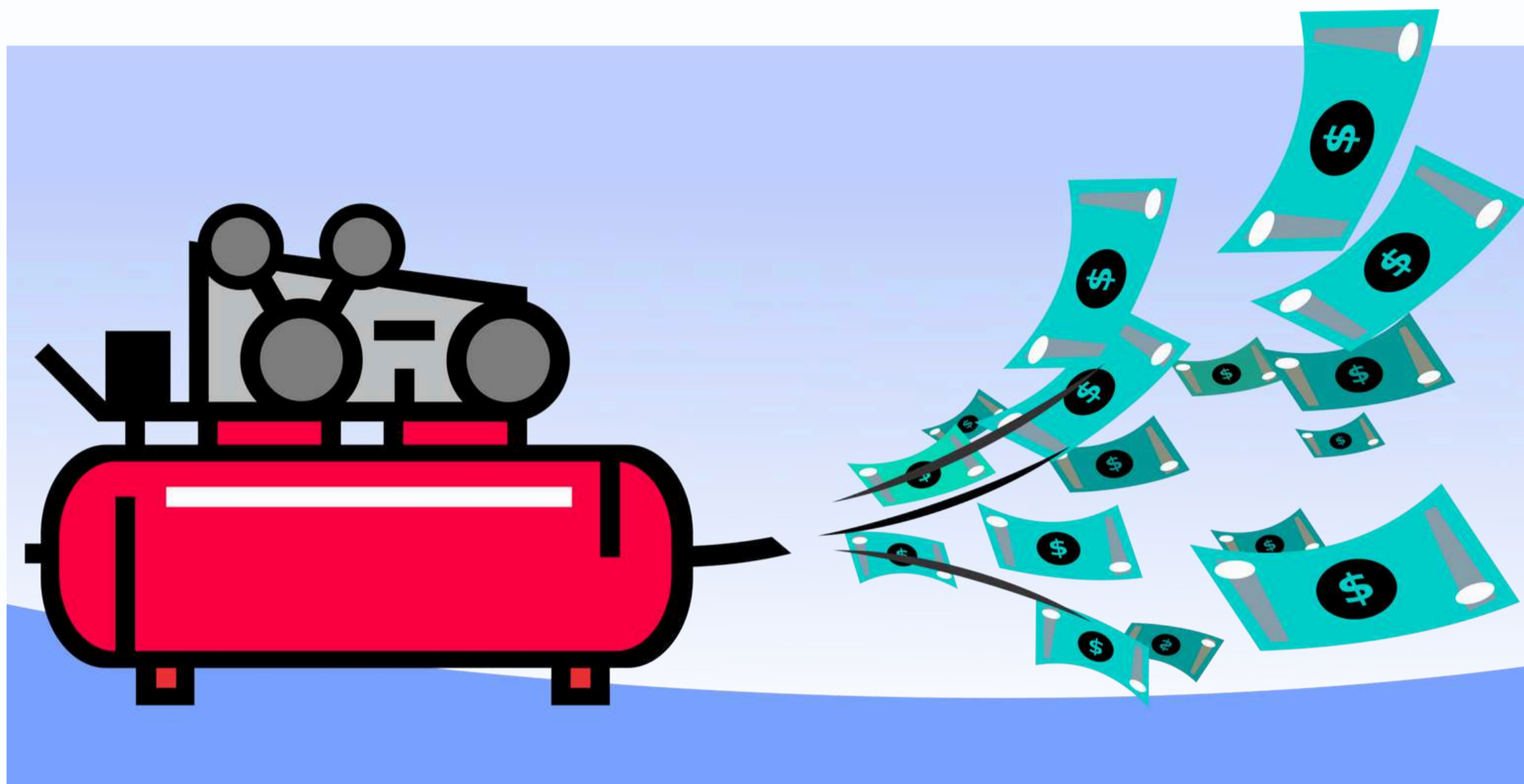
O ano de 2023 encerra com consumo acumulado de eletricidade de 531.013 GWh, alta de 4,2% comparado com 2022.

Em termos absolutos, o consumo industrial de eletricidade no Brasil em 2023 foi de aproximadamente 188 TWh (terawatts-hora).

Este consumo inclui a energia usada por várias indústrias, como manufatura, mineração, alimentos e bebidas usando a mesma métrica de 10% temos 18,8 TWh em 2023.

Redução Potencial: Estudos indicam que melhorias na eficiência dos sistemas de ar comprimido podem levar a uma redução de até 30% no consumo de energia. Isso pode ser alcançado através da modernização de equipamentos, manutenção adequada e otimização do sistema.

Na indústria, um metro cúbico de ar à pressão de 7 barg custa cerca de meio centavo de dólar (1,0 m³ ar ~ R\$ 0,03) apenas em energia.



Em função das perdas decorrentes da transformação de energia, o ar comprimido (energia pneumática) pode custar de **sete a dez vezes** mais do que a energia elétrica para realizar uma aplicação similar, embora isso seja normalmente compensado pelas vantagens de flexibilidade, conveniência e segurança proporcionadas pela energia pneumática.

Mesmo assim, procure sempre verificar se o ar comprimido é realmente necessário para aquela tarefa particular ou se pode ser substituído pela eletricidade.

O importante é ter em mente que o consumo racional do ar comprimido deve ser uma preocupação constante entre os usuários.

As tabelas das próximas páginas relacionam e quantificam as perdas de energia usualmente verificadas num sistema de ar comprimido.

Vazamento de ar comprimido

Todos os sistemas de ar comprimido estão sujeitos a vazamentos e não são raras perdas de até 40% de todo o ar comprimido produzido.

Portanto, identificar, eliminar e reduzir os vazamentos de ar comprimido é uma das maneiras mais simples e eficientes de economizar energia.

Válvulas, tubos, mangueiras e conexões mal vedados, corroídos, furados e sem manutenção são responsáveis por vazamentos de enormes proporções num sistema pneumático.

Um método simples para estabelecer a grandeza dessas perdas é interromper o consumo de todo o ar comprimido do sistema, mantendo os compressores em operação.

Com isso, a pressão na rede chegará ao seu limite máximo. Dependendo do tipo de controle de cada compressor, eles deveriam se desligar ou entrar em alívio, pois não haveria consumo de ar.

Se existirem vazamentos, a pressão na rede cairá e os compressores (total ou parcialmente) voltarão a comprimir. Medindo-se os tempos carga/alívio dos mesmos e sabendo-se sua vazão efetiva, pode-se deduzir a magnitude total dos vazamentos.



Vazamento através de diferentes orifícios x custo energético

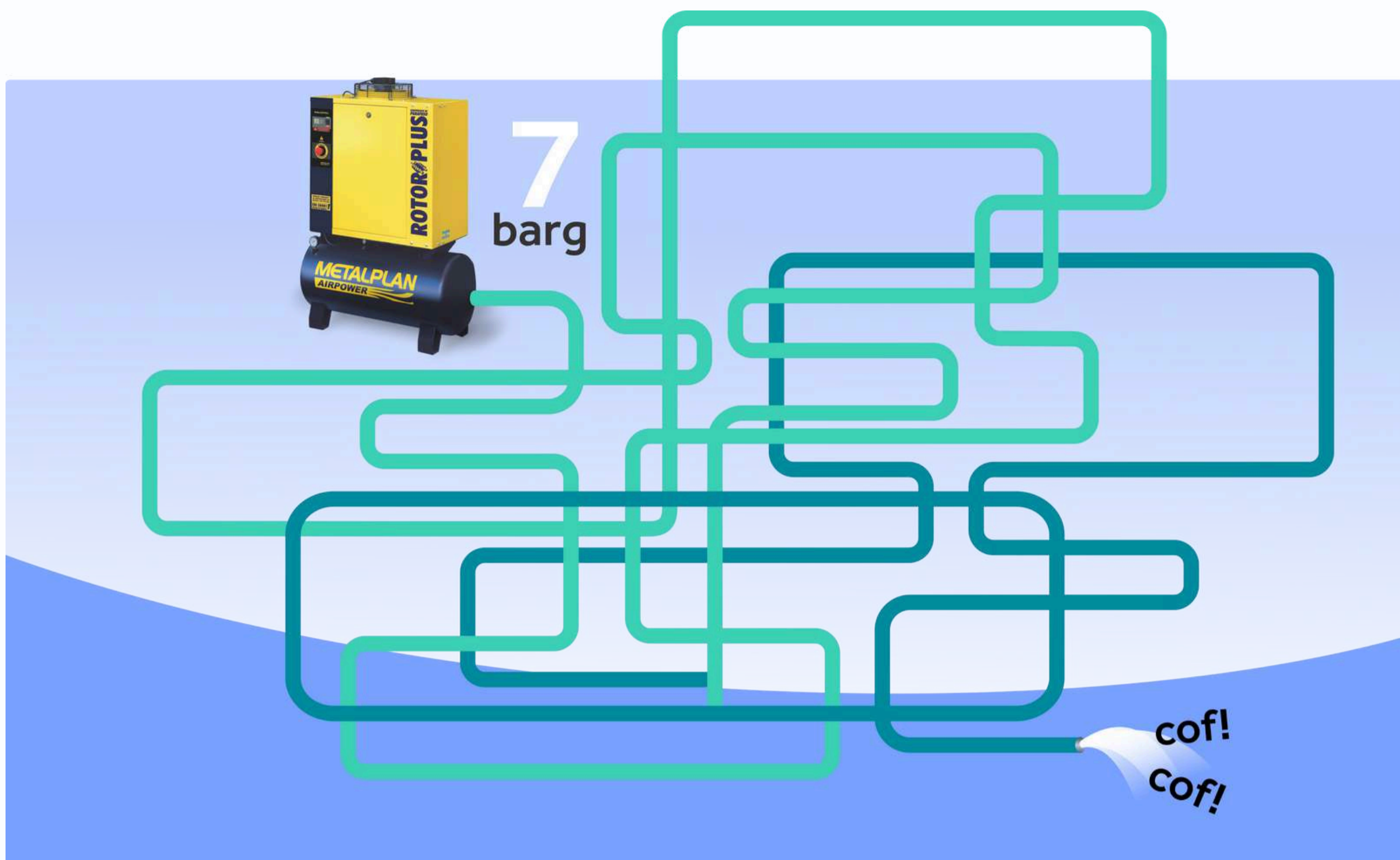
CUSTO DO VAZAMENTO			
Diâmetro equivalente do vazamento (mm)	3,2	6,4	12,7
Vazamento m ³ /h	45	180	720
Custo (R\$/ano)	28.880,00	115.200,00	460.800,00

P = 7 bar(2) | 8000h/ano | 1,0kwh = R\$ 0,80

Perda de carga (queda de pressão)

Além da redução da pressão do ar comprimido provocada por uma rede de distribuição inadequada (diâmetro da tubulação inferior ao necessário, *layout* incorreto da tubulação, curvas e conexões em excesso, etc.), um sistema de ar comprimido também pode estar operando numa pressão muito superior à exigida pela aplicação.

O cálculo correto das redes de distribuição principal e secundárias, a manutenção (substituição) periódica de elementos filtrantes saturados, a regulação precisa da pressão de cada ponto de consumo, a escolha de componentes e acessórios com menor restrição ao fluxo de ar, bem como a seleção correta do compressor em função das necessidades de pressão do sistema, poderão contribuir de forma fundamental para a redução do consumo de energia associado à perda de carga.



A tabela abaixo apresenta alguns custos com a queda de pressão

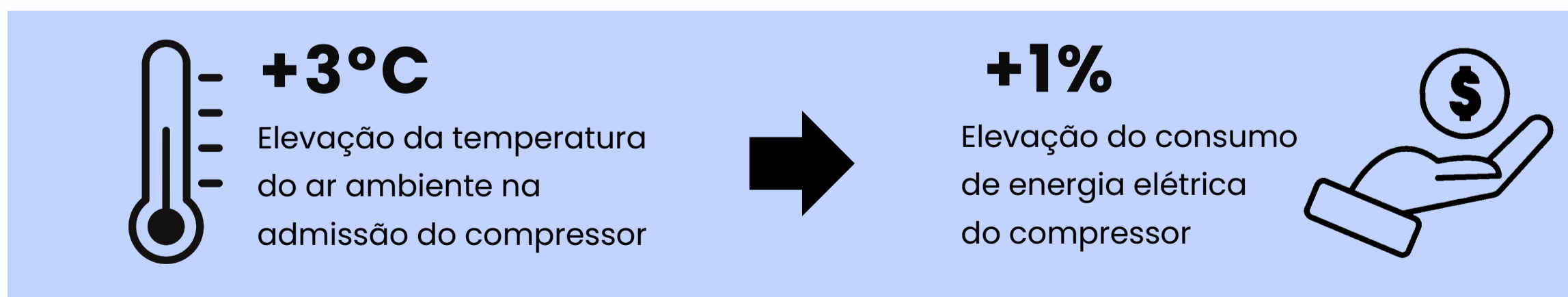
CUSTO DA PERDA DE CARGA			
vazão (m ³ /hora)	400	800	1600
ΔP (bar)	1,0		
Custo (R\$/ano)	18.800,00	37.600,00	75.200,00

P = 7 bar(e) | 8000h/ano | 1,0kWh = R\$ 0,80

Temperatura de admissão do ar

A elevação da temperatura ambiente diminui a densidade do ar, provocando uma redução da massa aspirada pelo compressor. Em consequência, a eficiência do compressor fica comprometida.

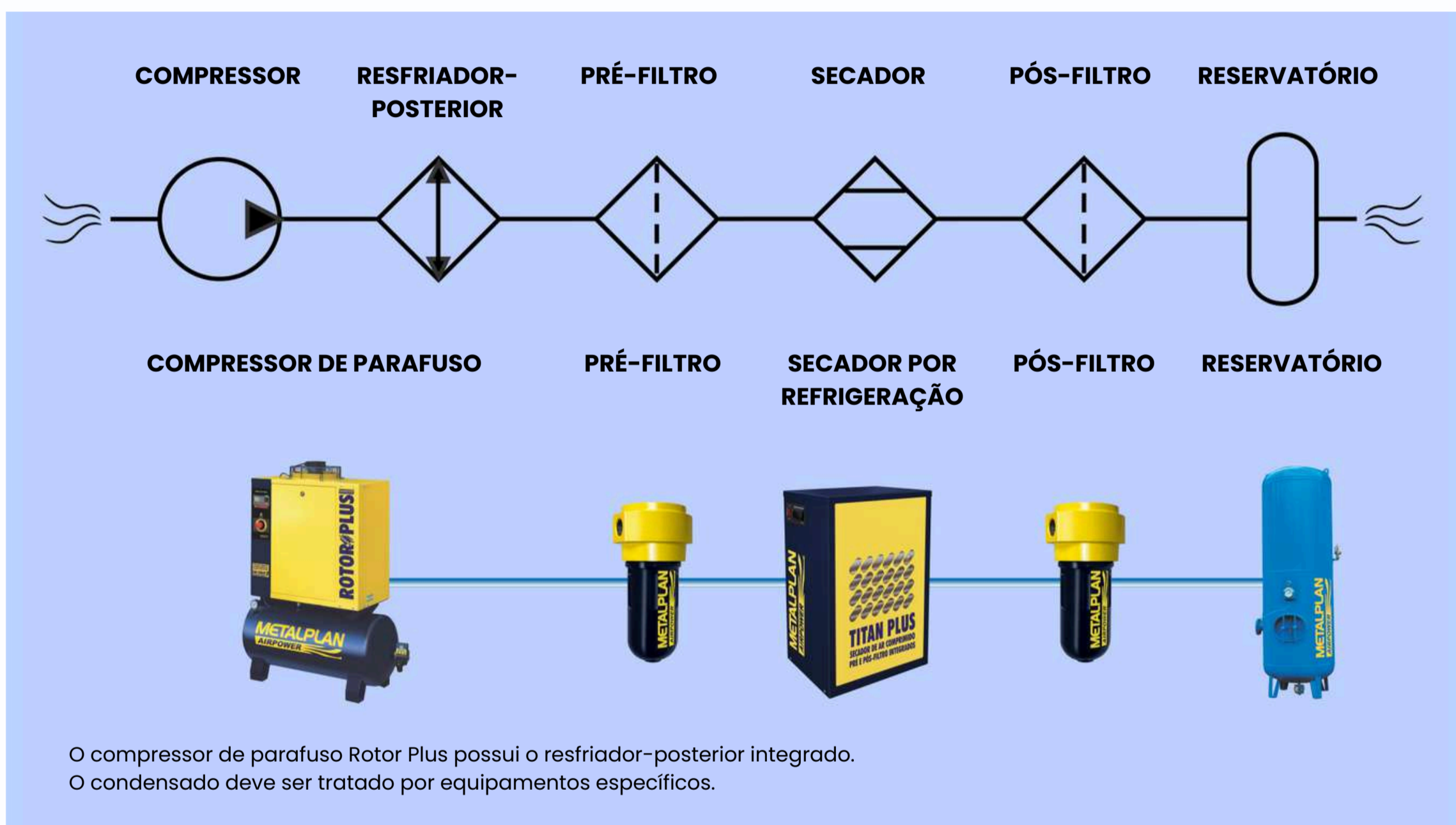
CUSTO DA TEMPERATURA DE ADMISSÃO



Admite-se que uma redução de 3°C na temperatura de admissão do ar ambiente pelo compressor implica numa economia de energia de 1%.

Os equipamentos de um sistema de ar comprimido

A figura a seguir ilustra um sistema de ar comprimido típico, de acordo com a norma ISO-8573, com os equipamentos habitualmente necessários para o fornecimento confiável de ar comprimido de qualidade.



A quantidade e o tipo de cada equipamento utilizado é função da aplicação do ar comprimido.

Aplicações mais críticas exigem sistemas redundantes, com fontes de energia alternativas, para garantir o suprimento de ar comprimido em situações de emergência.

Outras aplicações irão requerer um sistema de purificação do ar mais sofisticado, com monitoração constante do nível de contaminação, afim de evitar danos irreversíveis aos usuários.

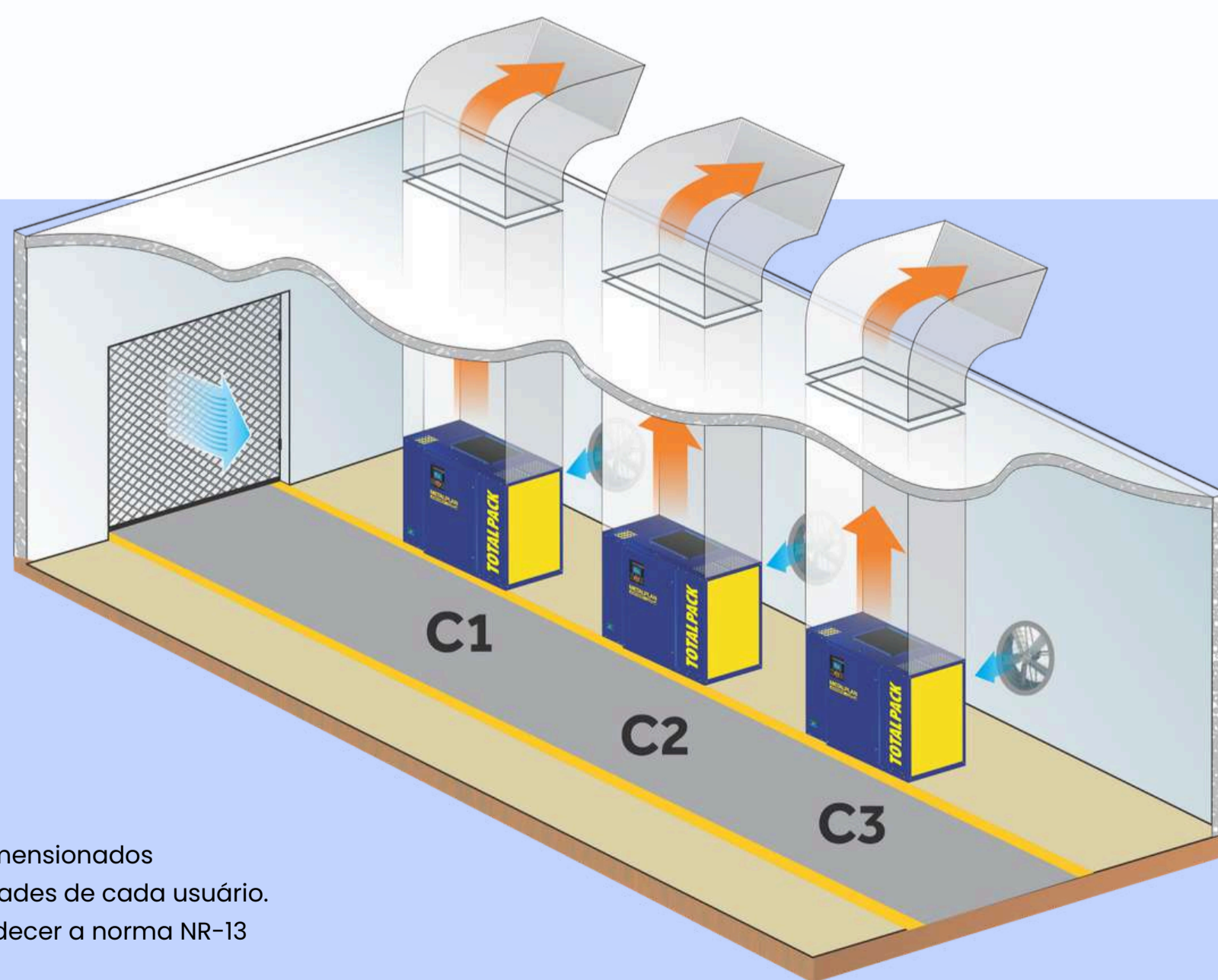
Geração de ar comprimido

A sala dos compressores

Os compressores e demais equipamentos de geração, tratamento e armazenamento de ar comprimido situam-se na categoria de utilidades, tais como caldeiras, geradores, tratamento, bomba etc.

Dessa forma, procure respeitar as seguintes orientações:

- Reserve uma sala específica para isso, separada das demais áreas da empresa.
- O ruído emitido pelos equipamentos deve ser isolado do exterior.
- O ingresso na sala deve ser permitido apenas ao pessoal autorizado, portando os EPI's mínimos exigidos por lei, como o protetor auricular.
- A captação do ar atmosférico deve ficar distante de quaisquer tipos de fontes de contaminação ou calor, tais como: torres de resfriamento de água, ruas sem calçamento, banhos químicos, chaminés, caldeiras, escapes de motores de combustão, etc. O descuido com esse item gera problemas com a qualidade do ar comprimido e com o consumo de energia.
- O arrefecimento de compressores resfriados a ar deve ser realizado por dutos de entrada e saída, procurando-se obter a menor temperatura ambiente disponível.



*Reservatórios de ar podem ser dimensionados e instalados conforme as necessidades de cada usuário. Todos os reservatórios devem obedecer a norma NR-13

O compressor de ar

O equipamento que realiza a compressão do ar ambiente é denominado **compressor de ar**, que transforma um tipo de energia (normalmente elétrica) em energia pneumática.

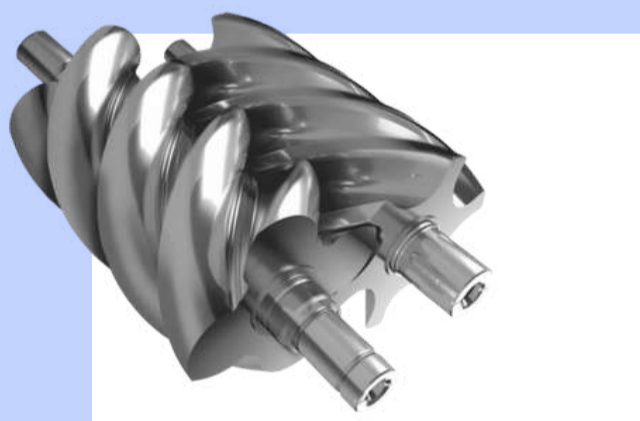
Hoje, existem cerca de 80 milhões de compressores em operação no mundo e outros 8 milhões são fabricados todos os anos. Para o escopo desse manual, interessa-nos dois tipos básicos de compressores: alternativos (de pistão) e rotativos (de parafuso e centrífugo).

Em termos conceituais, os compressores de pistão e de parafuso são denominados de **deslocamento positivo**, pois a compressão do ar é obtida pela redução de seu volume, de forma alternada (pistão) ou contínua (parafuso).

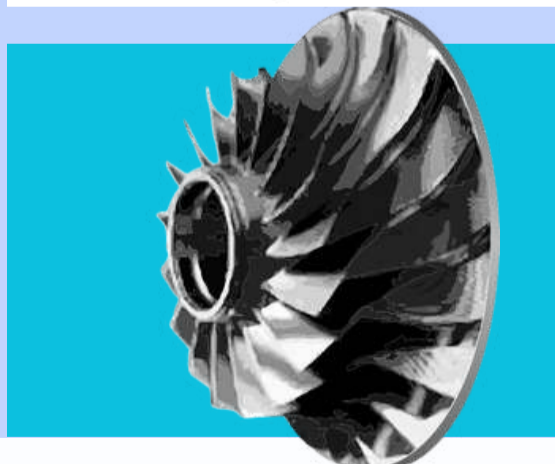
O compressor centrífugo é do tipo **dinâmico**, pois a compressão ocorre pela transformação da energia cinética (velocidade) do ar em energia potencial (pressão).



Os **compressores de pistão** são comumente aplicados para pequenas vazões (até 100 m³/h).



Os **compressores de parafuso** são mais indicados para pequenas, médias e grandes vazões (50 m³/h a 2000 m³/h).

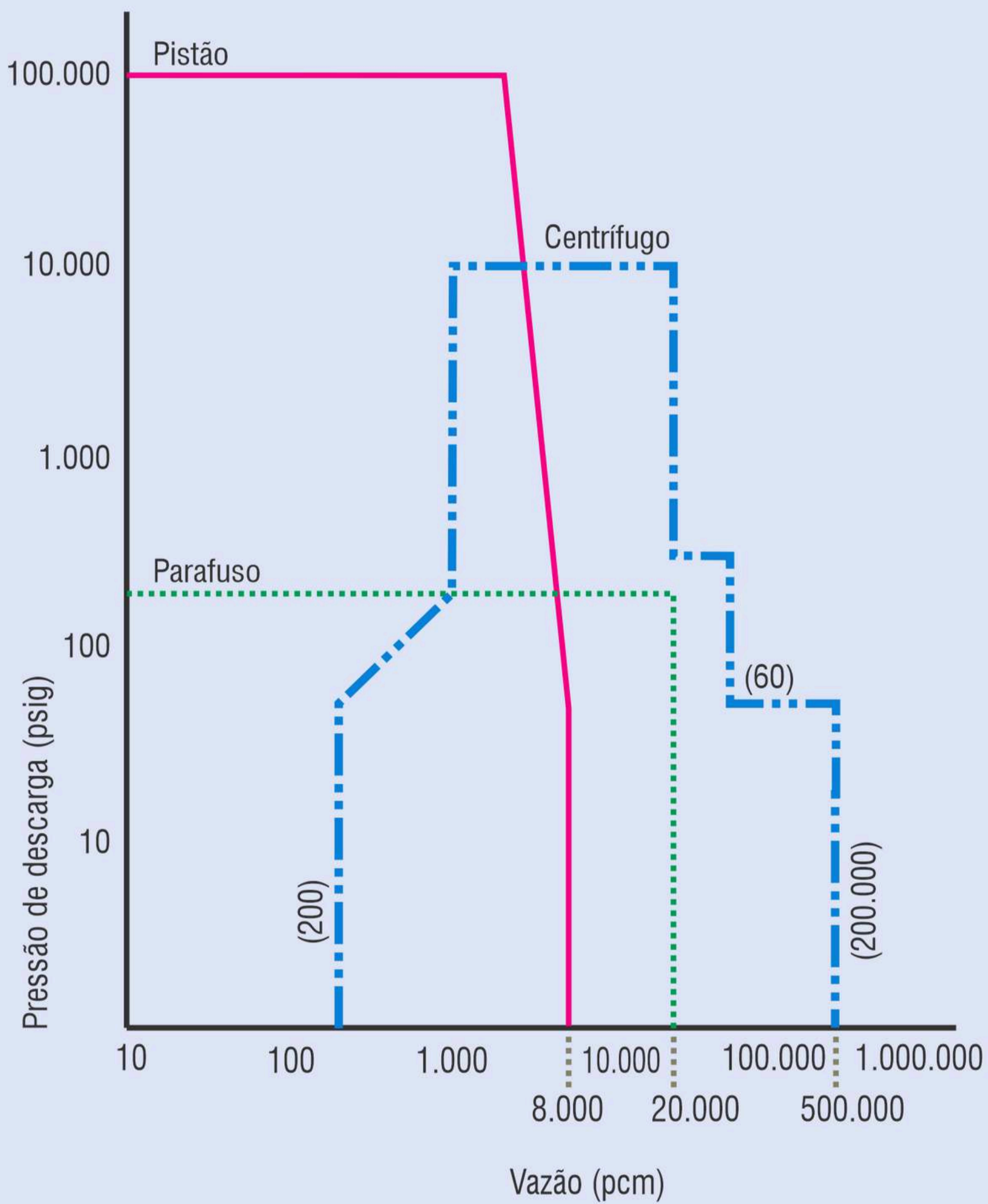


Os **compressores centrífugos** são mais indicados para vazões grandes e muito grandes (>1500 m³/h).

As pressões atingidas pelos compressores variam, em geral, entre 6 barg e 40 barg, sendo a pressão de 7 barg tipicamente encontrada na maioria das aplicações.

Um eficiente sistema de ar comprimido começa pela escolha do compressor mais adequado para cada atividade.

SELEÇÃO DOS COMPRESSORES



PISTÃO



PARAFUSO



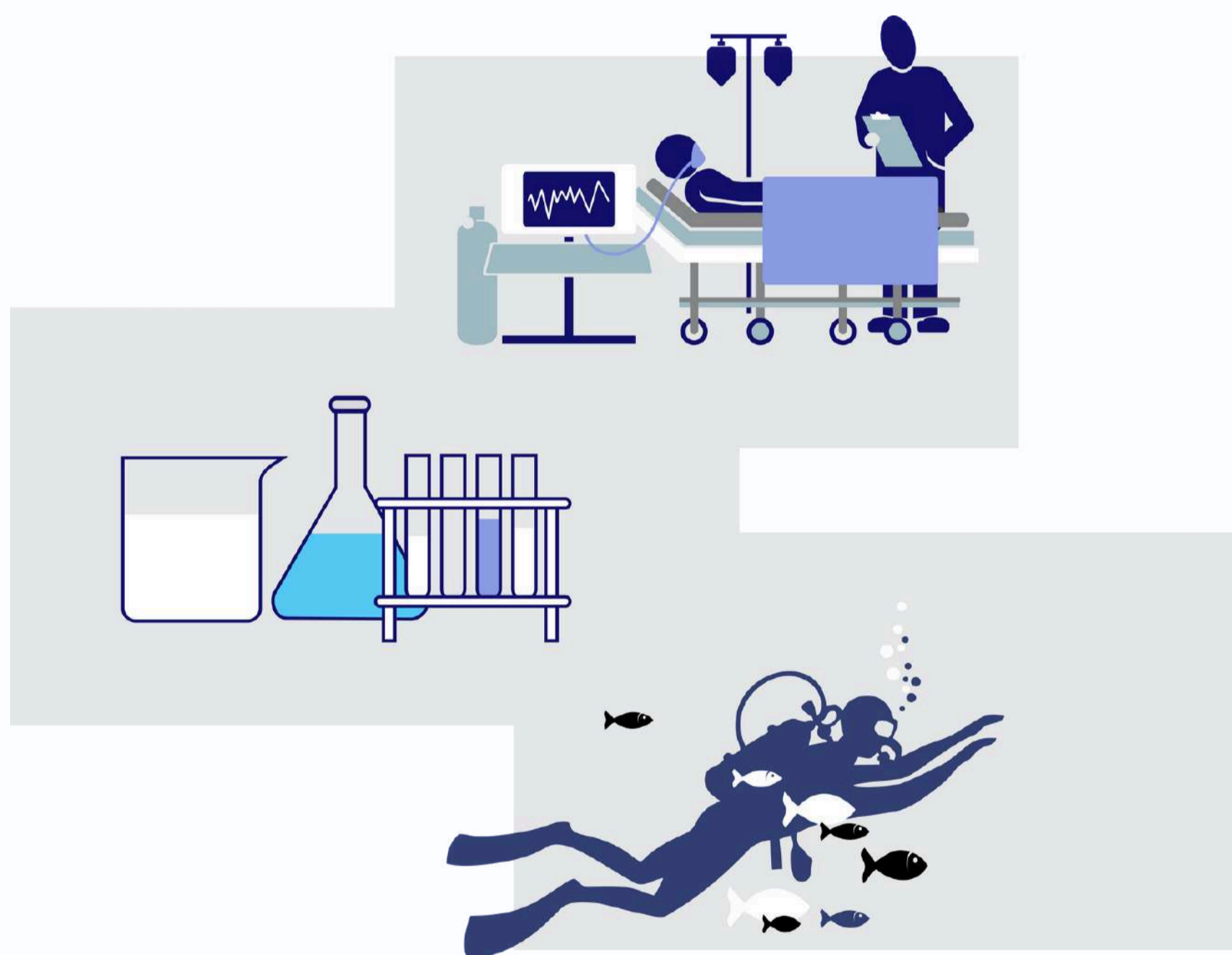
CENTRÍFUGO



A seleção do compressor mais adequado para uma determinada aplicação é função da **vazão**, **pressão** e **nível de pureza** exigidos por tal aplicação.

O diagrama da página anterior, elaborado pelo *Compressed Air and Gas Institute (CAGI-EUA)*, auxilia na escolha do tipo de compressor mais indicado para atender os parâmetros **vazão** e **pressão**.

Embora a faixa de aplicação dos compressores de pistão seja bastante ampla, é notório que os compressores de parafuso têm recebido a preferência dos usuários para vazões a partir de 50 pcm (85m³/h), devido às suas características de desempenho superiores.



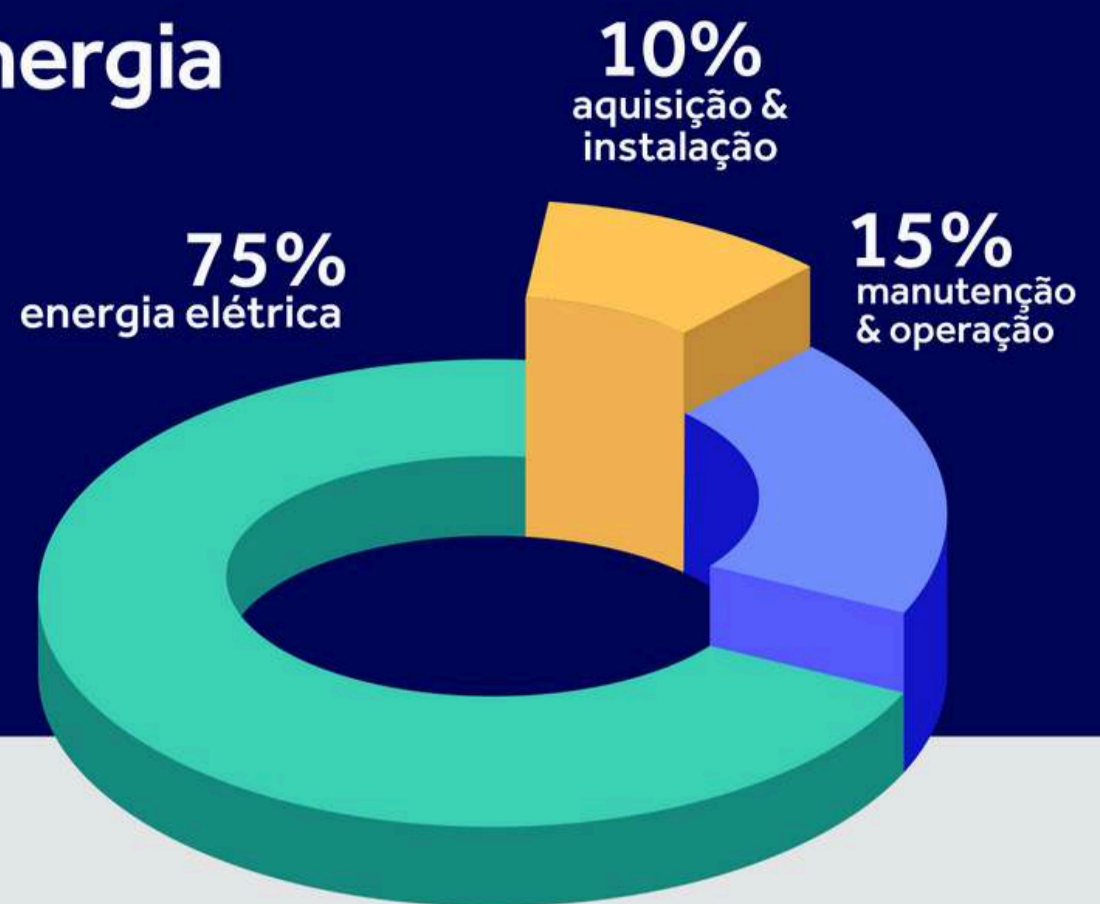
O quadro da página seguinte apresenta a diferença do custo de propriedade entre compressores de pistão e de parafuso, nas mesmas condições de operação.

Quanto ao **nível de pureza** do ar comprimido, é conveniente fazer uma distinção entre aplicação crítica e não-crítica.

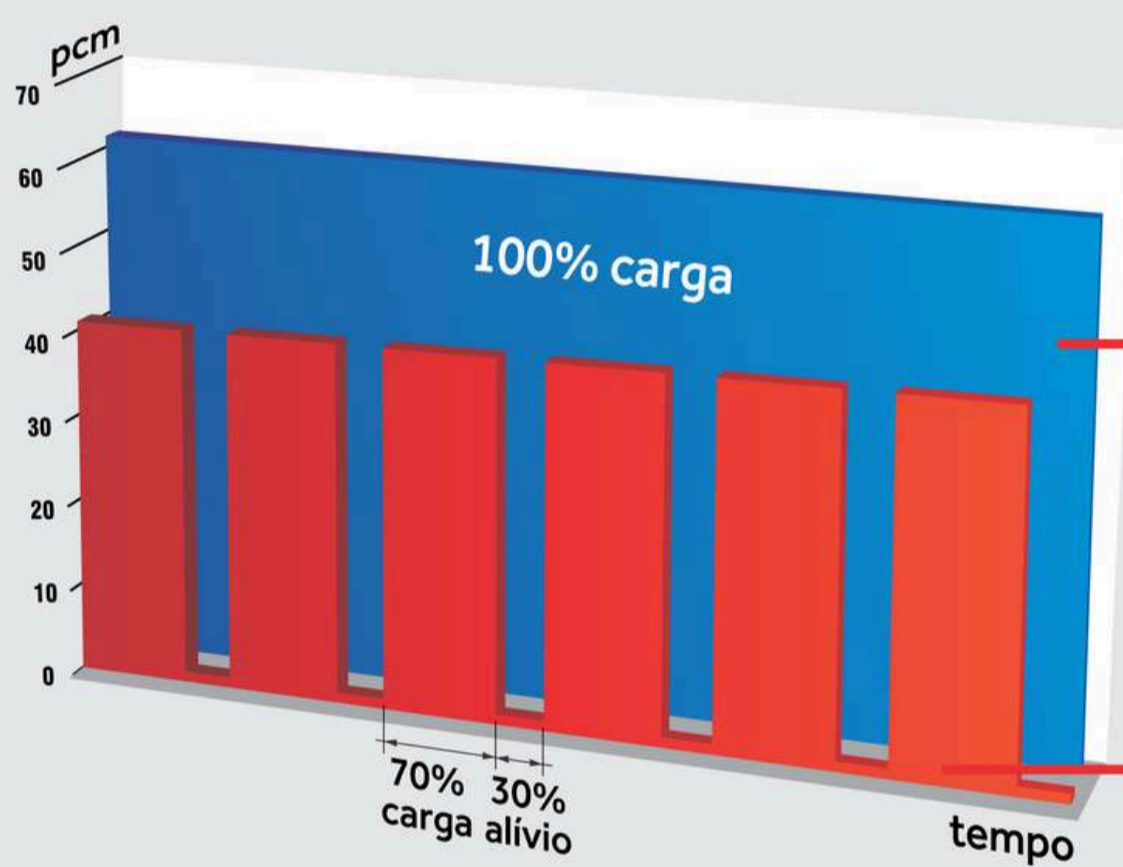
Nessas situações críticas, os compressores lubrificados só poderão ser utilizados quando o sistema possuir um módulo específico de segurança, com alarme e proteção redundante, capaz de garantir a qualidade do ar comprimido, mesmo no caso da ruptura dos separadores de óleo do compressor.

Você já calculou o custo de energia do seu compressor de ar?

O consumo de energia elétrica representa o custo mais importante num sistema de ar comprimido.



PRODUÇÃO EFETIVA DE AR COMPRIMIDO



Um compressor de parafuso de 15 hp (vazão efetiva = 62 pcm) produz 3720 pcm de ar comprimido em uma hora, porque pode operar em plena carga durante 100% do tempo.



Um compressor de pistão de 15 hp (vazão efetiva = 42 pcm) produz 1764 pcm de ar comprimido em uma hora, porque pode operar apenas 70% do tempo em plena carga, para não fundir.

MAIS ECONÔMICO



6 meses

Os compressores de parafuso Rotor Plus proporcionam uma economia de 60% sobre qualquer compressor de pistão. O retorno do seu investimento acontece em até seis meses.

1 - pés = pés cúbicos por minuto
2 - inclui quadro elétrico, vibra-stop, etc.

VAZÃO	PISTÃO	PARAFUSO	ECONOMIA
80 pés ¹ Aquisição Energia Manutenção	 15 hp 15 hp R\$ 37.000 ² R\$ 860.000 R\$ 360.000	 10 hp 10 hp R\$ 47.000 R\$ 580.000 R\$ 125.000	 MUSTANG ZERO KM
Custo total	R\$ 1.257.000	R\$ 752.000	R\$ 505.000*

*economia calculada apenas na geração do ar (48000h/R\$0,80/rWh), sem levar em conta a economia obtida com o tratamento do ar

Mustang é marca registrada The Ford Motor Company

Quantidade de compressores

Assim que a vazão total do sistema for definida, estabeleça um fator entre 20% e 50% para futuras ampliações e selecione dois compressores que, somados, atendam essa vazão.

Um terceiro compressor, da mesma capacidade, pode ser adicionado ao sistema como *stand by* (veja dica).

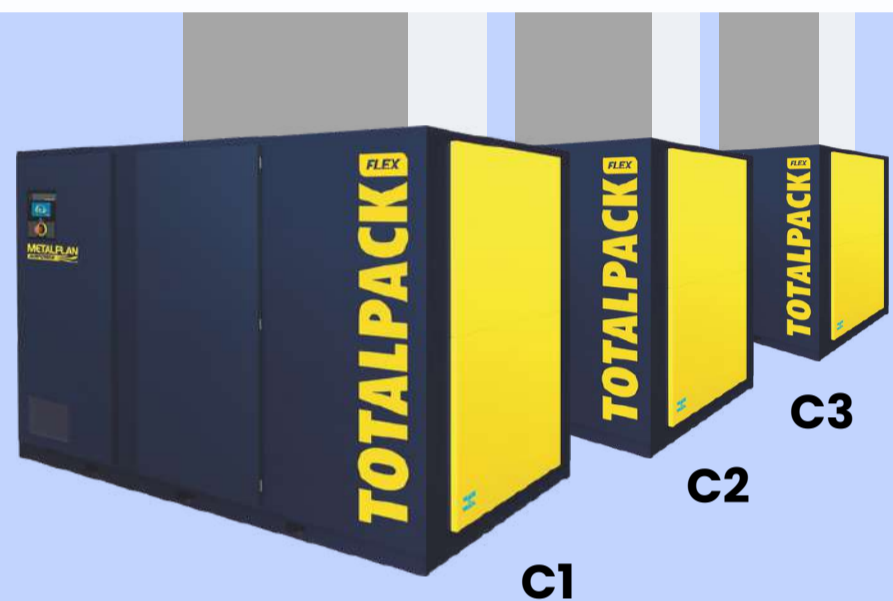
Em conjunto, os três compressores podem ser programados para operar num sistema de rodízio, proporcionando o mesmo nível de utilização para todos.

Vazão requerida = 100

Vazão de cada compressor (C1, C2, C3) = 60

C1 + C2 = 120 (operação)

C3 = 60 (stand by)



Um rodízio bem planejado permite, inclusive, que as manutenções preventivas aconteçam em intervalos defazados, gerando menor concentração de custos para essa tarefa.

Essa configuração é, sob qualquer aspecto, a mais vantajosa para o usuário, pois garante o suprimento de ar comprimido, presente e futuro, com o menor risco de falha.

Verifique a potência e a vazão efetivamente produzida pelo compressor. Cuidado com informações do tipo “volume deslocado”, pois costumam omitir as perdas ocorridas no processo de compressão.

De qualquer maneira, a definição da quantidade correta de compressores e seu regime de trabalho será fortemente influenciada pelo perfil de consumo de ar comprimido, que deverá ser traçado com a melhor precisão possível no momento do projeto.



DICA

O papel do terceiro compressor reserva pode ser feito pelos antigos compressores da instalação original. Isso é mais inteligente do que se desfazer dos mesmos, pois o valor apurado na sua venda costuma ser muito baixo.

Tratamento de ar comprimido

A contaminação do ar comprimido é a **soma** da contaminação do ar ambiente com outras substâncias que são introduzidas durante o processo de compressão.

O ar ambiente é contaminado por partículas sólidas (poeira, microorganismos, etc.), vapor d'água (umidade relativa), vapores de hidrocarbonetos (fumaça de óleo diesel, etc.), dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxido nitroso, dióxido de enxofre, etc.

Durante o processo de compressão, o ar comprimido também é contaminado pelo óleo lubrificante do compressor e por partículas sólidas provenientes do desgaste das peças móveis do mesmo. Na tubulação de distribuição, o ar comprimido ainda pode arrastar ferrugem e outras partículas.

A norma ISO-8573¹ classifica os contaminantes do ar comprimido e suas unidades de medida da seguinte maneira:

CONTAMINANTE	DIMENSÃO	CONCENTRAÇÃO	PONTO DE ORVALHO
Sólidos	µm	mg/m ³	-x-
Água	-x-	-x-	°C
Óleo	-x-	mg/m ³	-x-

1 - Este documento utiliza a 1ª edição da Norma ISO-8573 (1991)

A pressão e a temperatura do ar comprimido potencializam os efeitos prejudiciais de todos esses contaminantes.

A redução gradual da temperatura do ar comprimido ao longo da tubulação causa a condensação de alguns contaminantes gasosos.

Ao atingirem a fase líquida (condensado), esses contaminantes estarão presentes no fluxo de ar comprimido sob diferentes aspectos, desde um conjunto amorfo (filete de condensado) depositado nas partes inferiores da tubulação e dos equipamentos, passando por pequenas gotas e chegando até a aerossóis microscópicos dispersos entre as moléculas do ar comprimido.

Por definição (ISO-8573/2.4), aerossol é uma **suspensão num meio gasoso de partículas sólidas e/ou líquidas com uma desprezível velocidade de queda (< 0,25 m/s).**

O resultado da mistura de todos os contaminantes é uma emulsão ácida e abrasiva que compromete o correto funcionamento de um sistema de ar comprimido em qualquer tipo de aplicação.

A análise do ar ambiente de uma região industrial típica encontra as seguintes taxas aproximadas de contaminação, considerando-se uma temperatura ambiente de 38 °C e umidade relativa de 100%:

CONTAMINANTE	DIMENSÃO	CONCENTRAÇÃO
Sólidos	0,01 a 2,0 µm	10 ²⁰ partículas/m ³
Água	-x-	46,3 g/m ³
Óleo	-x-	15 mg/m ³

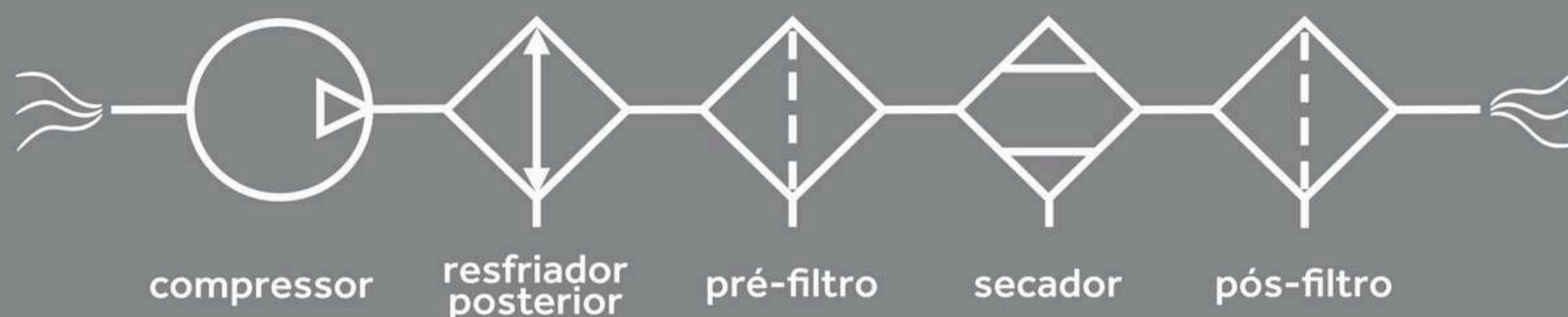
Esses contaminantes serão aspirados por qualquer compressor de ar, **seja lubrificado ou isento de óleo**, juntamente com os gases citados anteriormente.

A título de ilustração, tomemos um sistema de ar comprimido com um compressor de 5100 m³/h operando em três turnos. Num ambiente sob temperatura de 25°C e umidade relativa de 75%, este compressor introduzirá 2106 litros de água por dia no sistema.

Norma ISO-8573-1

A norma internacional ISO-8573-1 é a referência central sobre a qualidade do ar comprimido para uso geral, não valendo para usos muito particulares, como ar medicinal, respiração humana e alguns outros.

A tabela a seguir apresenta as classes de qualidade do ar comprimido em função dos seus três contaminantes típicos: água, óleo e partículas sólidas.



CONTAMINANTES & CLASSES DE QUALIDADE

classe	PARTÍCULAS SÓLIDAS número máximo de partículas por m ³ (d = dimensão da partícula)			classe	ÁGUA - umidade ponto de orvalho (°C)	classe	ÓLEO - concentração total (líquido/aerossol/vapor) (mg/m ³)
	0,1µm < d ≤ 0,5µm	0,5µm < d ≤ 1µm	1µm < d ≤ 5µm				
0	CLASSE ZERO - como especificado pelo usuário ou pelo fornecedor dos equipamentos e mais rigoroso que a Classe 1						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	1	-70	1	≤ 0,01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	2	-40	2	≤ 0,1
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	3	-20	3	≤ 1
4	-	-	≤ 10.000	4	+3	4	≤ 5
5	-	-	≤ 100.000	5	+7	5	-
	Concentração mássica - C _p (mg/m ³)			6	+10	6	-
6	0 < C _p ≤ 5				Água Líquida C _w (g/m ³)		
7	5 < C _p ≤ 10			7	C _w ≤ 0,5	7	-
8	-			8	0,5 < C _w ≤ 5	8	-
9	-			9	5 < C _w ≤ 10	9	-
X	C _p > 10			X	C _w > 10	X	> 5

Para a obtenção dos diferentes níveis de pureza do ar comprimido (classes de qualidade), a ISO-8573 recomenda a sequência de equipamentos mostrada na página 11.

Há também uma norma própria - ISO-7183 - que trata do projeto e testes de desempenho de secadores de ar.

Secadores instalados em climas temperados devem obedecer a norma ISO-7183-A, que especifica a temperatura ambiente em 25°C e a temperatura de entrada do ar no secador em 35°C.

Secadores instalados em climas tropicais devem obedecer a norma ISO-7183-B, que especifica a temperatura ambiente em 38°C e a temperatura de entrada do ar no secador em 38°C.

SISTEMAS TÍPICOS ISO 8573	classe de qualidade	APLICAÇÕES	
	[1:6:1] ²	Ar seco, com ponto de orvalho entre 5°C e 15°C. Ideal para pequenas vazões e proteção de válvulas, cilindros, ferramentas pneumáticas, automação, jateamento, pintura, etc.	
	[1:6:1] ² [1:6:0] ²	O filtro de carvão ativado elimina odores, com residual de óleo de 0,003 mg/m ³ , adequado para clínicas odontológicas e aplicações similares, exceto respiração humana.	
	[1:4:1]	Este é o sistema de tratamento mais utilizado na indústria. Seu nível de proteção atende a diversos setores, como o automobilístico, plástico, têxtil, papelero, mecânico, metalúrgico, etc.	
	[1:4:0]	Qualidade similar ao sistema anterior, com eliminação de odores e menor residual de óleo (0,003 mg/m ³), importante na geração de N ₂ e O ₂ e nas indústrias alimentícias, químicas, farmacêuticas, etc.	
	[1:4:0]	Qualidade similar aos dois sistemas anteriores, em termos de "água" e "partículas sólidas". Atende a Classe Zero para o contaminante "óleo", com total segurança.	
	[1:2:1] [1:1:1]	Previne a absorção do vapor quando o ar tem contato direto com materiais higroscópicos (cimento, resinas, alimentos e fármacos em pó ou liofilizados). Evita o congelamento, quando o ar é submetido a temperaturas negativas. Aplicado na geração de gases de altíssima pureza.	
	[1:2:1] [1:1:1]	Baixo ponto de orvalho e máxima retenção de partículas é essencial na fabricação de fibras óticas, chips, instrumentação crítica, siderurgia, reatores nucleares, etc.	
	[1:2:0] [1:1:0]	Qualidade similar aos dois sistemas anteriores, em termos de "água" e "partículas sólidas". Atende a Classe Zero para o contaminante "óleo", com total segurança.	
		1 os secadores Energy Plus e Titan Plus possuem pré e pós-filtros integrados 2 somente se a temperatura de entrada do ar comprimido ≤ 25°C	instale um sistema de tratamento de condensado AQUA +

Os componentes de um sistema de tratamento de ar comprimido

O resfriador-posterior

Sua função é reduzir a temperatura do ar que deixa o compressor para níveis próximos da temperatura ambiente. Com isso, obtém-se uma grande condensação dos contaminantes gasosos, especialmente do vapor d'água.

O separador mecânico de condensados do resfriador-posterior responde pela remoção de aproximadamente 70% dos vapores condensados do fluxo de ar comprimido.

Um purgador automático deve ser instalado sob o separador de condensados para garantir a eliminação desta contaminação líquida para a atmosfera, com perda mínima de ar comprimido.





Os purgadores são pequenos aparatos destinados a efetuar a drenagem dos contaminantes líquidos do sistema de ar comprimido para o meio ambiente.

Podem ser **manuais** ou **automáticos**, sendo que estes últimos dividem-se normalmente em **eletrônicos** e **mecânicos**. Os purgadores eletrônicos são encontrados nos tipos **temporizado digital** ou com **sensor de umidade**.

Em termos construtivos, o resfriador-posterior é um trocador de calor convencional resfriado pelo ar ambiente ou por água.

O filtro de ar comprimido

O filtro de ar comprimido aparece geralmente em três posições diferentes: antes e depois do secador de ar comprimido e também junto ao ponto-de-uso.

A função do **filtro instalado antes do secador** por refrigeração (pré-filtro) é separar o restante da contaminação sólida e líquida (~30%) não totalmente eliminada pelo separador de condensados do resfriador-posterior, protegendo os trocadores de calor do secador contra o excesso de óleo oriundo do compressor de ar, o que poderia impregná-los, prejudicando sua eficiência.

O excesso de condensado no secador também reduz sua capacidade de resfriamento do ar comprimido, pois consome-se energia para resfriar um condensado que já poderia ter sido eliminado do sistema.



No caso de sistemas dotados de secadores por adsorção, o pré-filtro deverá garantir que nenhuma quantidade de contaminação líquida, inclusive os aerossóis de água e óleo, atinja o material adsorvedor, obstruindo seus poros e impedindo a sua reativação.

O **filtro instalado após o secador** (pós-filtro) deve ser responsável pela eliminação da umidade residual (~30%) não removida pelo separador mecânico de condensados do secador por refrigeração, além da contenção dos sólidos não retidos no pré-filtro.

A capacidade do pós-filtro efetuar a eliminação de qualquer umidade residual é seriamente afetada pela temperatura do ar comprimido na saída do secador.

Na verdade, em qualquer secador por refrigeração, o ar comprimido sofre um reaquecimento antes de voltar à tubulação. Esse reaquecimento é intencional (economiza energia e evita que a tubulação fique gelada), mas provoca a completa reevaporação da umidade residual que não foi removida pelo separador de condensados. No estado gasoso, essa umidade não pode ser eliminada pelo pós-filtro.

Na prática, o pós-filtro instalado após o secador por refrigeração retém apenas partículas sólidas.

No caso de sistemas dotados de secadores por adsorção, o pós-filtro destina-se apenas à retenção das partículas sólidas produzidas pela abrasão do material adsorvedor (poeira do adsorvedor).

Os **filtros instalados no ponto-de-uso** são utilizados para evitar que os contaminantes presentes ao longo da tubulação de ar comprimido atinjam a aplicação final do mesmo.

Se o sistema não possui qualquer tipo de tratamento de ar comprimido, os filtros instalados no ponto-de-uso são ainda mais recomendados. Os modernos filtros para ar comprimido são do tipo **coalescente e adsorvedor**.

Esses filtros são constituídos por uma carcaça resistente a pressão do ar comprimido e por um elemento filtrante, que é responsável pela filtração do ar.

Alguns acessórios costumam fazer parte deste equipamento, como um purgador automático e um manômetro indicador da saturação do elemento filtrante (perda de carga).

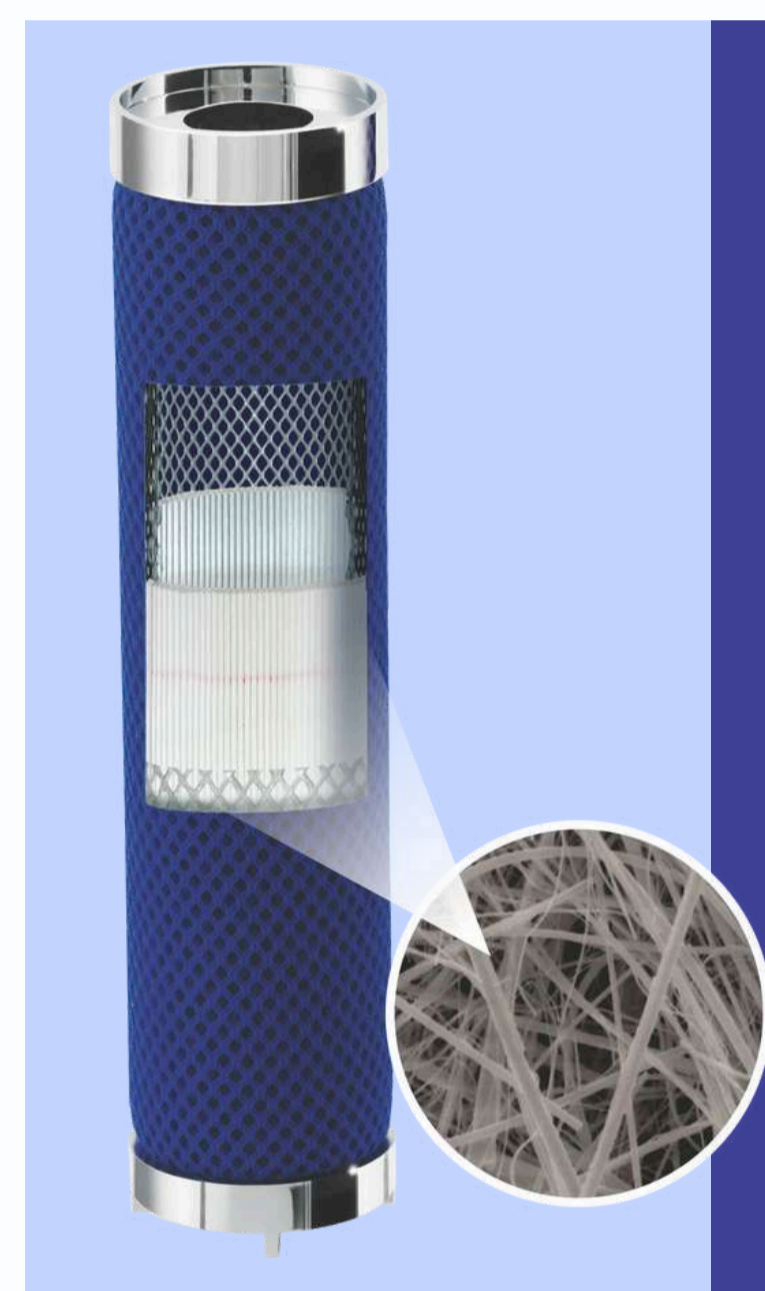
Os elementos filtrantes são geralmente apresentados em diferentes graus de filtração, utilizados conforme a aplicação do ar comprimido e a posição do filtro no sistema.

Aplicações menos severas, bem como os pré-filtros, exigem elementos com menor capacidade de retenção.

Da mesma forma, aplicações críticas e pós-filtros necessitarão de elementos com maior poder de filtração.

O mecanismo de operação de um filtro coalescente é bastante particular. Baseia-se em dois processos distintos: a retenção mecânica e a coalescência.

A retenção mecânica é a simples obstrução da passagem do contaminante sólido através do elemento, permitindo apenas que o ar comprimido siga adiante. Nesse caso, é fácil notar que o contaminante deverá ser maior do que o menor poro do elemento. Esse processo está contido no primeiro efeito que produz a coalescência (Interceptação Direta), conforme será visto logo a seguir.



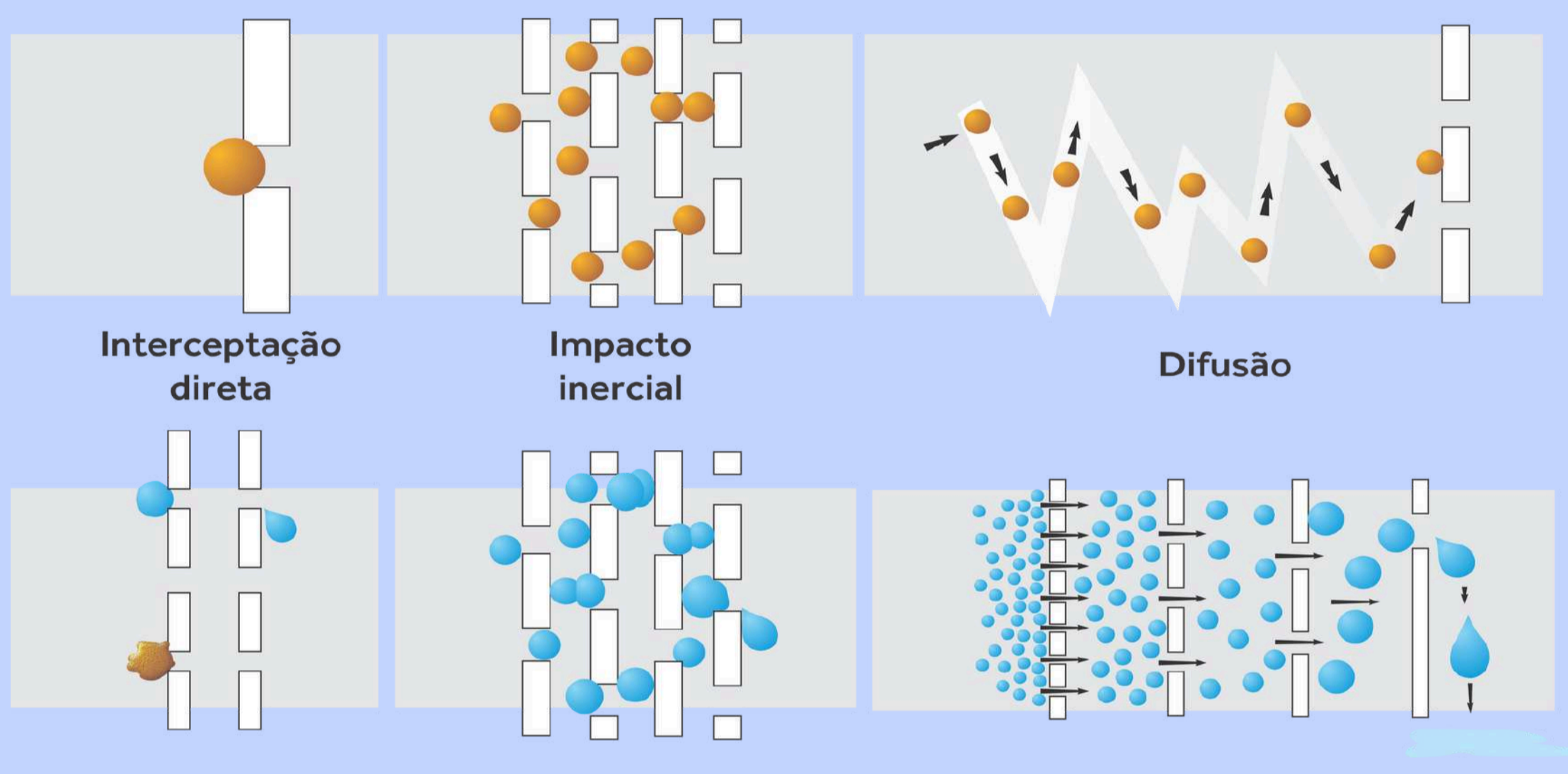
A **coalescência**, porém, é considerada um fenômeno um pouco mais complexo e muitos estudiosos não a vêem como um processo de filtração propriamente dito.

A norma ISO-8573 define a coalescência com bastante precisão como sendo a **ação pela qual partículas líquidas em suspensão unem-se para formar partículas maiores**.

Como uma parte significativa (~30%) da contaminação líquida presente no ar comprimido é composta por aerossóis, a coalescência ganhou importância central para a eficiência de um sistema de tratamento de ar comprimido, pois é somente através desse efeito que se consegue separar os aerossóis.

Três fenômenos se somam para produzir o efeito da coalescência:

- **Interceptação Direta:** efeito de filtração no qual uma gota ou uma partícula sólida colide com um componente de um meio filtrante que está em seu caminho ou é capturada por poros de diâmetros menores do que o diâmetro da partícula.
- **Impacto Inercial:** processo no qual uma partícula colide com uma parte do meio filtrante devido à inércia da partícula.
- **Difusão:** movimento (*browniano*) de moléculas gasosas ou de partículas pequenas causado por uma variação de concentração.



A **nanofibra de borossilicato** é o componente principal do meio filtrante, sendo responsável pela ação coalescente. Essas nanofibras são inertes e impermeáveis, o que significa que não reagem quimicamente com outras substâncias e também não adsorvem ou absorvem líquidos.

Pode-se observar que a coalescência não impede a contaminação líquida de atravessar todo o meio filtrante.

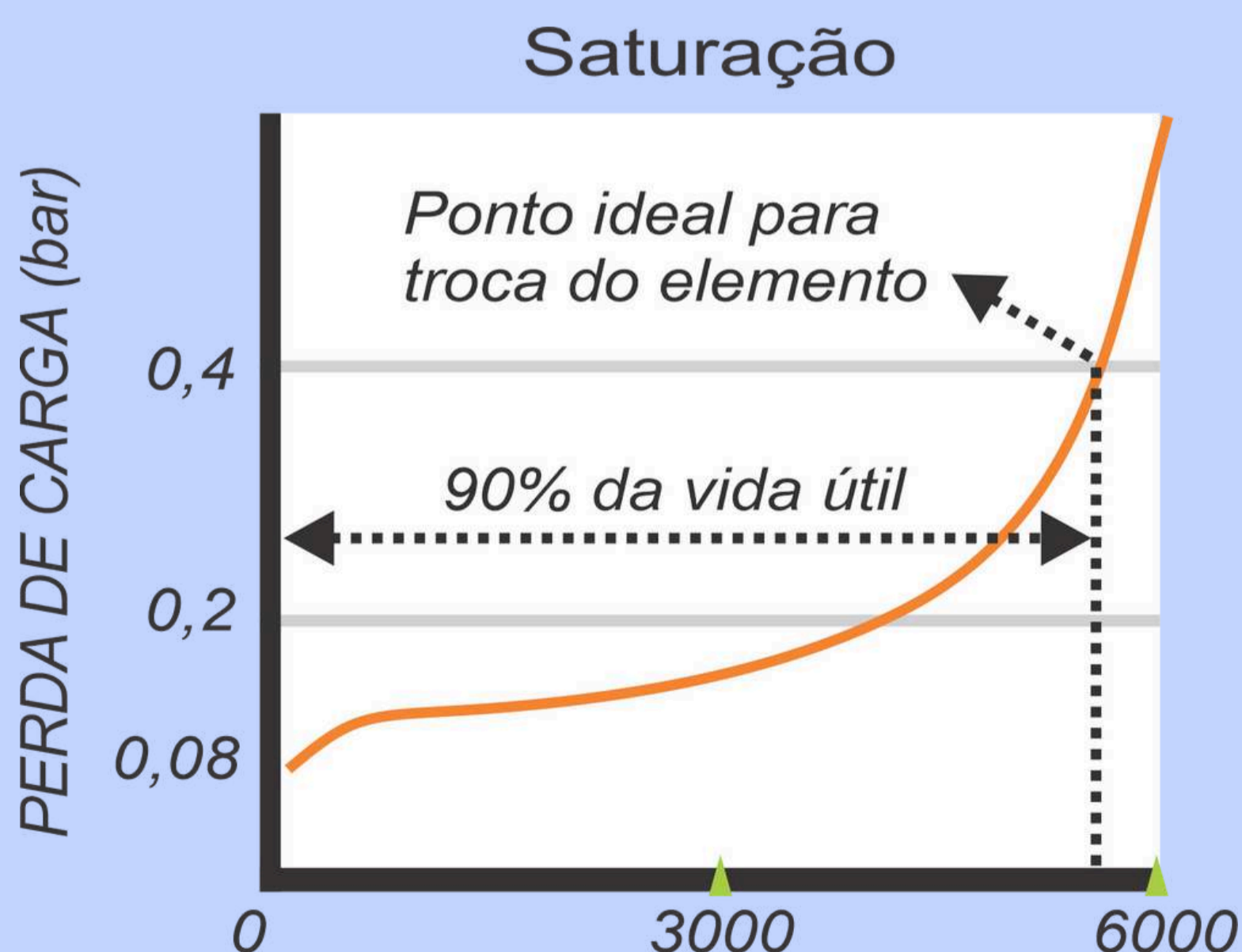
Ao contrário, ela permite que isso ocorra para que os contaminantes coalescidos possam dirigir-se ao fundo da carcaça do filtro pela ação da gravidade e sejam drenados para o exterior a partir desse ponto.

Portanto, um elemento coalescente somente poderá ficar saturado pela aglomeração de partículas sólidas no **interior de suas fibras**, ou seja, pelo efeito da retenção mecânica.

A emulsão de óleo e água causa, no máximo, a impregnação externa das fibras do elemento, diminuindo muito pouco a área de passagem do fluxo de ar, uma vez que 95% do volume de um elemento coalescente é formado por espaços vazios.

Por essa razão, os elementos coalescentes são descartáveis e ainda não existe um método para reciclá-los. Todavia, sua durabilidade (entre 4000h e 6000h) compensa essa limitação. Essa vida útil está baseada no período mais econômico de utilização do elemento coalescente, quando sua maior perda de carga ainda está limitada em 0,45~0,55 bar (6~8 psi), sendo que grande parte de sua operação esteve situada na faixa média de 0,2 bar (~3 psi).

Após esse período, manter um elemento coalescente em operação torna-se muito desvantajoso do ponto de vista energético.



Embora um elemento filtrante deva ser construído para suportar perdas de carga de até 2,5~3,0 bar, recomenda-se sua substituição com no máximo 1,0 bar, pois a perda de carga aumenta exponencialmente no final de sua vida útil, chegando rapidamente nos limites de resistência mecânica do elemento.

Pelas razões acima, a coalescência ainda é a forma mais econômica de separar os aerossóis de água e óleo de um sistema de ar comprimido.

Finalmente, os filtros adsorvedores destinam-se à remoção dos vapores de hidrocarbonetos (óleo) do fluxo de ar comprimido. Em geral, estão posicionados depois do último filtro coalescente, pois ficam assim protegidos de qualquer contaminação na forma líquida que poderia atingi-los.

Também podem permanecer junto ao ponto-de-uso do ar comprimido, uma vez que seu uso é limitado à aplicações especiais. O meio filtrante de um filtro adsorvedor é, via de regra, o carvão ativado, substância capaz de capturar aqueles vapores no seu interior. Embora seu processo de filtração esteja baseado no efeito da adsorção (“atração e adesão de moléculas de gases e líquidos na superfície de um sólido” – ISO-8573/2.3), não se costuma realizar a regeneração/reativação do carvão ativado de um filtro adsorvedor.

O secador de ar comprimido

Sua função é eliminar a umidade (líquido e vapor) do fluxo de ar. Um secador deve estar apto a fornecer o ar comprimido com o **Ponto de Orvalho** especificado pelo usuário.

Ponto de Orvalho é a temperatura na qual o vapor começa a condensar.

Há dois conceitos principais de secadores de ar comprimido: **por refrigeração** (cujo Ponto de Orvalho padrão é +3°C) e **por adsorção** (com Ponto de Orvalho mais comum de -40°C).

Os secadores de ar comprimido possuem uma norma internacional (ISO-7183) de especificações e testes.

Esta norma faz uma importante diferenciação dos secadores em função da localização geográfica dos mesmos. Faixas de temperatura de operação mais altas são definidas para equipamentos instalados em regiões mais quentes do planeta, exigindo uma adaptação dos mesmos a condições mais adversas.



O secador por refrigeração

O secador por refrigeração opera resfriando o ar comprimido até temperaturas próximas a 0°C, quando é possível obter-se a máxima condensação dos vapores de água e óleo (sem o risco de congelamento).

Na maioria dos modelos, um circuito frigorífico realiza essa tarefa. No ponto mais frio do sistema, é importante uma eficiente separação dos condensados formados, evitando sua reentrada no fluxo de ar comprimido.

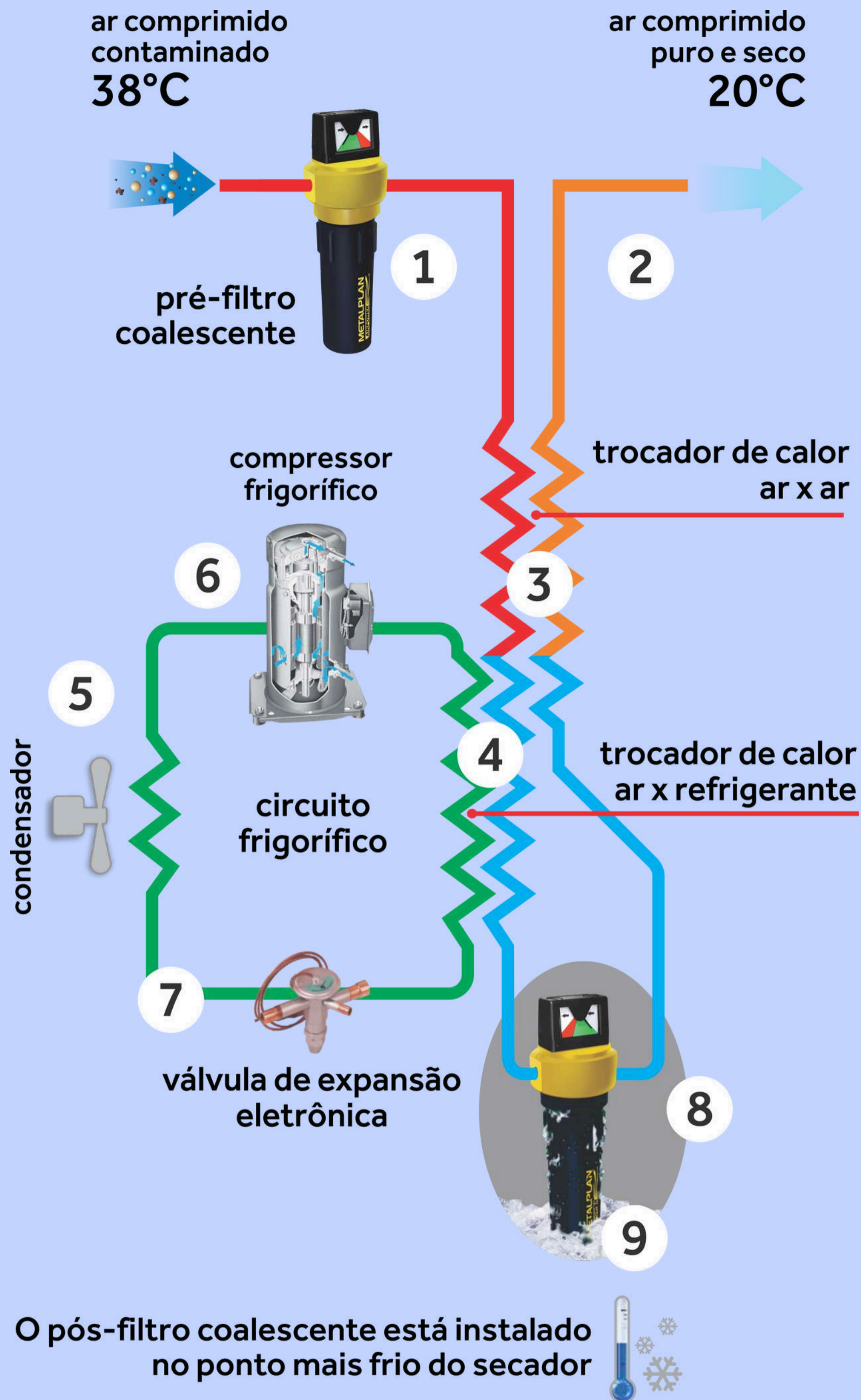
Dependendo do tipo de secador, isso é feito por separadores de condensado, filtros coalescentes e purgadores automáticos. Depois de removido o condensado, a maioria dos secadores por refrigeração reaquece o ar comprimido (através do recuperador de calor, que reaproveita o calor do próprio ar comprimido na entrada do secador), devolvendo-o ao sistema numa condição mais adequada ao uso.

Ao entrar no secador, recomenda-se que o ar comprimido esteja numa temperatura próxima à ambiente, permitindo uma redução no consumo de energia do equipamento.

Se o secador for resfriado a ar, deve-se ter um cuidado especial com a temperatura ambiente onde será instalado.

Tabelas de correção são usuais para dimensionar o correto secador por refrigeração em função das condições de operação.

Em termos construtivos, um secador de ar por refrigeração é composto por trocadores de calor, um circuito frigorífico, separador de condensado, filtros coalescentes, purgador automático, painel elétrico e outros itens, podendo ser resfriado pelo ar ambiente ou por água.



- 1 - Entrada do Ar Comprimido
- 2 - Saída do Ar Comprimido
- 3 - Recuperador de calor
- 4 - Evaporador Filtro Coalescente
- 5 - Condensador

- 6 - Compressor Frigorífico
- 7 - Circuito de Refrigeração
- 8 - Separador de Condensados/
Filtro Coalescente
- 9 - Purgador Automático

O secador por adsorção

O **secador por adsorção** caracteriza-se por remover os vapores do ar comprimido sem condensá-los.

Devido ao baixo Ponto de Orvalho que conseguem proporcionar (até -100°C), são indicados para aplicações muito especiais, quando o secador por refrigeração deixa de ser eficaz.

Também em função de seu baixo Ponto de Orvalho, consomem muito mais energia do que os secadores por refrigeração, recomendando cautela na sua especificação.

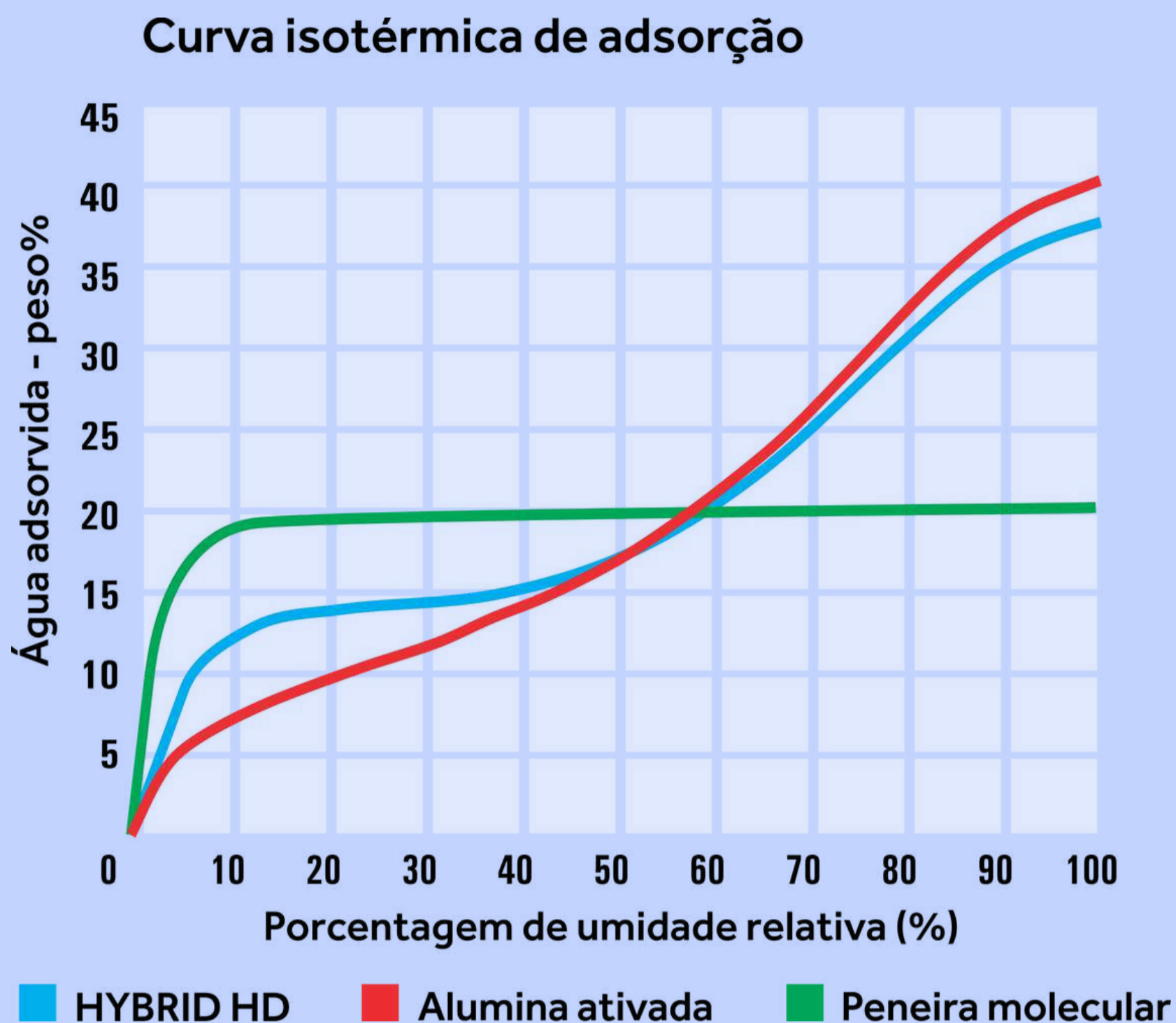
A adsorção, como já foi dito, é o efeito de atração das moléculas de gases e líquidos para a superfície de um sólido (material adsorvedor), mantendo-as aderidas na mesma.



O material adsorvedor de um secador por adsorção tem um altíssimo poder de atração e retenção das moléculas de água sobre sua superfície.

Há diversos tipos de materiais adsorvedores (sílica-gel, alumina ativada, molecular sieve, H-156, etc.), cada um com características mais apropriadas a certos tipos de aplicação. A superfície dos materiais adsorvedores atingem áreas de 300 m^2 por grama.

O gráfico abaixo exibe o desempenho de diferentes tipos de materiais adsorvedores em função da umidade relativa.

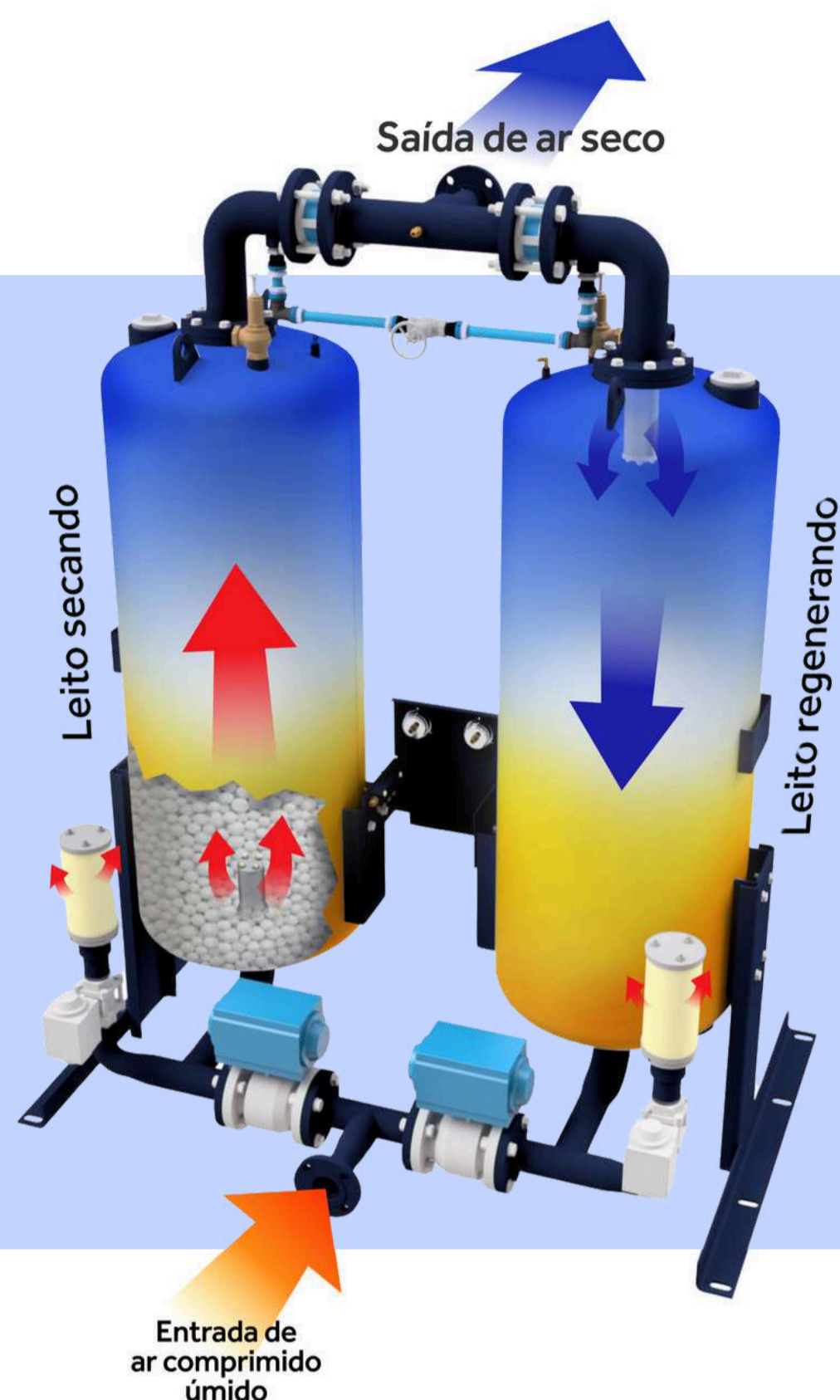


Alguns secadores por adsorção utilizam mais do que um tipo de material adsorvedor em seu leito de secagem, a fim de garantir o ponto de orvalho especificado.

Em geral, um secador por adsorção possui dois leitos de secagem, de modo a permitir que um leito esteja secando o ar comprimido, enquanto que o leito já saturado possa ser regenerado/reativado. Em qualquer tipo de secador por adsorção, um fluxo de ar despressurizado e extremamente seco (pré-aquecido ou não) é o veículo condutor para a extração das moléculas de água do leito saturado no sentido oposto ao da secagem.

Um painel de comando determina a frequência e a amplitude dos ciclos de regeneração e adsorção deste tipo de secador.

Um sistema de válvulas também comandado pelo painel do secador permite que a umidade deixe o leito saturado para o meio-ambiente.



Em pequenas e médias vazões (até 3000 m³/h) e sempre que haja disponibilidade de ar comprimido para regeneração, os secadores por adsorção *Heaterless* mostram-se os mais indicados.

Quando o ar comprimido de regeneração torna-se mais escasso, seu substituto preferencial é o tipo *Vacuum Assisted*.

Entretanto, em altas vazões, o custo do ar comprimido para a regeneração passa a justificar a adoção dos secadores por adsorção com uma fonte auxiliar de calor.

Em termos construtivos, um secador por adsorção possui dois vasos sob pressão (leitos) verticais, base, tubulação de interligação, sistema de válvulas, silenciador de purga (*muffler*) e um painel de comando.

Os secadores por Adsorção subdividem-se pelo tipo de regeneração:

Tipo	Operação	Ar de regeneração	Fonte externa de calor	Custo de manutenção	Vida do material adsorvedor
HEATERLESS	Utiliza apenas o calor gerado na adsorção (processo exotérmico) para aquecer e regenerar o material adsorvedor do leito saturado. Consome bastante do próprio ar comprimido para esta tarefa.	15%	não	muito baixo	5 ~ 10 anos
VACUUM ASSISTED	É similar ao Heaterless, mas possui uma bomba de vácuo que reduz a contra-pressão exercida pela atmosfera, neutralizando as forças de atração/adeseção do material adsorvedor. Assim, é possível consumir pouco ar comprimido para a regeneração, mas gasta energia para gerar o vácuo.	1% a 2%	não	baixo	5 ~ 10 anos
INTERNALLY HEATED	Possui uma resistência interna (elétrica ou a vapor) que aquece o leito saturado até a temperatura de regeneração, quando um pequeno fluxo de ar encarrega-se da purga. Se a resistência for usada apenas para aquecer o ar de regeneração, haverá a necessidade de um maior consumo de ar.	1% a 8%	sim	baixo	3 ~ 5 anos
EXTERNALLY HEATED	O fluxo de ar de regeneração é aquecido por uma resistência externa aos leitos/torres do secador. Há perdas significativas de calor para o meio-ambiente, obrigando um maior consumo de ar de regeneração, mas pode-se utilizar apenas uma resistência para os dois leitos e a manutenção fica simplificada.	8%	sim	baixo	3 ~ 5 anos
BLOWER PURGE	É similar ao Externally Heated, mas possui um soprador que capta o ar ambiente, aquece-o e direciona-o ao leito a ser regenerado, eliminando o consumo de ar comprimido como ar de regeneração.	Zero	Sim	Médio	3 ~ 5 anos

Armazenamento de ar comprimido

Para o cálculo rápido do volume de um reservatório de ar, adota-se a seguinte regra:

Para compressores de pistão:

Volume do reservatório = 20% da vazão total do sistema medida em m^3/min .

Exemplo:

- Vazão total = $5 \text{ m}^3/\text{min}$
- Volume do reservatório = $20\% \times 5 \text{ m}^3/\text{min} = 1,0 \text{ m}^3$



Para compressores rotativos:

Volume do reservatório = 10% da vazão total do sistema medida em m^3/min .

Exemplo:

- Vazão total = $5 \text{ m}^3/\text{min}$
- Volume do reservatório = $10\% \times 5 \text{ m}^3/\text{min} = 0,5 \text{ m}^3$

Para um cálculo mais sofisticado, deve-se adotar uma fórmula que considera a vazão de ar requerida pelo sistema num determinado intervalo em função do decaimento máximo de pressão aceitável nesse intervalo.

Encontrado o volume total de armazenamento de ar necessário para o sistema, recomenda-se dividi-lo em dois reservatórios menores, de igual capacidade, sendo o primeiro instalado logo após o compressor de ar e antes do pré-filtro e o segundo logo após o pós-filtro.

Esse arranjo - um reservatório de ar úmido e um reservatório de ar puro e seco - traz inúmeros benefícios, como o ajuste perfeito do ciclo carga/alívio dos compressores, a proteção de todo o sistema contra vazamentos de óleo acidentais pelos compressores, o amortecimento de pulsações, a proteção dos rolamentos dos compressores, o fornecimento adequado de ar tratado para o consumo e a proteção dos equipamentos de tratamento de ar contra picos de vazão que viriam do primeiro reservatório, caso não houvesse o segundo.

Finalmente, um aspecto fundamental na seleção de reservatórios de ar comprimido é a segurança. A ocorrência de acidentes fatais envolvendo reservatórios fora de normas técnicas e sem as inspeções periódicas obrigatórias pela legislação brasileira é mais frequente do que se imagina.

Um reservatório deve sempre atender a PMTA (Pressão Máxima de Trabalho Admissível) do sistema, ser projetado, fabricado e testado conforme um conjunto de normas nacionais e internacionais (NR-13, ASME, etc.), possuir instalados seus acessórios mínimos obrigatórios (manômetro e válvula de segurança) e receber uma proteção anti-corrosiva interna e externa de acordo com sua exposição à oxidação.



Distribuição de ar comprimido

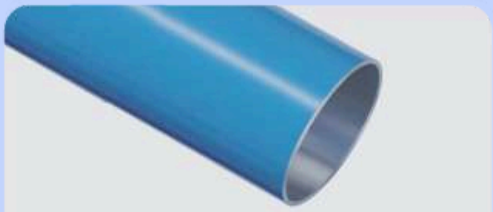
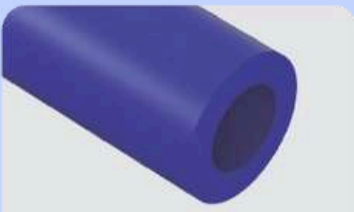
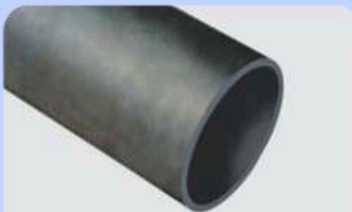
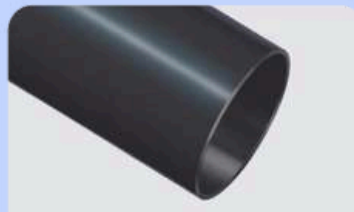
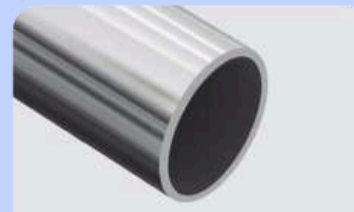
Uma rede de ar comprimido corretamente dimensionada garante uma baixa perda de carga (queda de pressão) entre a geração e o consumo, resultando num suprimento de ar adequado aos usuários, além de uma significativa economia de energia.

Sempre que possível, interligue entre si as extremidades da rede de ar, a fim de facilitar a equalização das pressões. O circuito em anel fechado é um *layout* de rede correto e bastante comum.

Mesmo que o ar comprimido seja tratado, convém construir a rede com uma pequena inclinação no sentido do fluxo de ar e instalar algumas válvulas nos pontos inferiores da mesma, visando captar o condensado formado durante eventuais paradas dos equipamentos de tratamento.

Com relação aos materiais da tubulação, dê preferência aos resistentes à oxidação, como alumínio, aço inoxidável e cobre. O aço galvanizado deve ser evitado por conta de sua elevada rugosidade, que aumenta a queda de pressão, à propensão à corrosão nas extremidades roscadas, devido à perda da galvanização e consequente formação de material particulado (ferrugem).

Por sua vez, os plásticos de engenharia (PPR) embora não sejam suscetíveis à corrosão, e muito utilizados em redes de ar comprimido de baixa responsabilidade, possuem muitas desvantagens como baixa resistência ao calor e a luz, entre outras. A tabela a seguir apresenta uma comparação entre os diversos materiais.

					
	Alumínio	PPR (plástico)	Galvanizado (aço carbono)	Preto (aço carbono)	Aço Inox
Eficiência energética	excelente ✓	regular ✗	regular ✗	ruim ✗	excelente ✓
Perda de carga	mínima ✓	baixa ✓	média ✗	alta ✗	baixa ✓
Vazamentos	0% ✓	0% ✓	10 - 40% ✗	10 - 40% ✗	0% ✓
Rugosidade interna	0,000004 mm ✓	0,007 mm ✓	0,15 mm ✗	2,0 mm ✗	0,015 mm ✓
Resistente à corrosão	excelente ✓	excelente ✓	média ✗	baixa ✗	excelente ✓
Resistente ao calor	alta ✓	baixa ✗	alta ✓	alta ✓	alta ✓
Resistente ao impacto	alta ✓	baixa ✗	alta ✓	alta ✓	alta ✓
Resistente à radiação UV	alta ✓	baixa ✗	alta ✓	alta ✓	alta ✓
Resistente a hidrocarbonetos	alta ✓	baixa ✗	alta ✓	alta ✓	muito alta ✓
Resistente à pressão	alta ✓	baixa ✗	muito alta ✓	muito alta ✓	alta ✓
Pintura externa	eletrostática (azul) ✓	pigmento azul ✓	exige pintura* ✗	exige pintura* ✗	exige pintura* ✗
Reutilizável	sim ✓	raramente ✗	raramente ✗	raramente ✗	raramente ✗
Tempo de montagem	muito baixo ✓	alto ✗	alto ✗	alto ✗	alto ✗
Pressão x Temperatura	16/70 bar(e) a 100°C ✓	20 bar(e) a 20°C ✗	OK ✓	OK ✓	OK ✓
Distância entre suportes	3 a 4 metros ✓	0,4 a 1,4 metros ✗	3 a 4 metros ✓	3 a 4 metros ✓	3 a 4 metros ✓

*ABNT-NBR-6493/1994 - Emprego de cores para identificação de tubulações.
Ar comprimido: azul-segurança Munsell 2,5PB 4/10.

Para um bom desempenho de todo o sistema, não permita que os vazamentos ultrapassem 5% da vazão total dos compressores, o que é muito. Imagine um sistema com quatro compressores de 100 hp cada. Se admitirmos até 5% de vazamento, estamos aceitando uma perda de 20 hp. Considerando que um sistema desse porte opera por ao menos 7 mil horas/ano, o consumo adicional de eletricidade num período de dez anos causaria facilmente um prejuízo de R\$ 600.000,00, o que seria suficiente para cobrir, com folga, qualquer investimento para o controle de vazamentos.

PERDA DE CARGA NA TUBULAÇÃO

m ³ /h	Perda de carga (psig) por 10 metros de comprimento em um tubo de diâmetro									
	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
80	2,73	0,64	0,18							
170		2,51	0,70	0,08						
350			2,68	0,31	0,09					
500				0,68	0,19	0,09				
850				1,86	0,50	0,21				
1200					1,00	0,41	0,13			
1700					1,97	0,81	0,25			
2100						1,28	0,41	0,10		
2500						1,79	0,56	0,14		
3400							1,00	0,25	0,08	
4200							1,56	0,39	0,12	
5100							2,24	0,55	0,17	0,07
6800								0,97	0,30	0,12
10200								2,15	0,67	0,26
13600									1,18	0,46
17000									1,82	0,71

COMPRIMENTO EQUIVALENTE DE TUBULAÇÃO (m)

	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
Cotovelo 90°	1,10	1,34	1,58	2,25	2,60	2,80	3,40	4,00	2,20	2,70
Curva 90°	0,67	0,70	0,83	1,00	1,10	1,10	1,20	1,40	1,50	1,70
Tê (fluxo dividido)	0,80	1,20	1,50	2,40	3,00	3,90	4,80	6,00	8,00	9,20
Válv. gaveta	0,17	0,20	0,25	0,37	0,46	0,52	0,58	0,76	0,95	0,98

até 4" = rosca / 5" e 6" = solda/flange

A METALPLAN É A PRIMEIRA EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

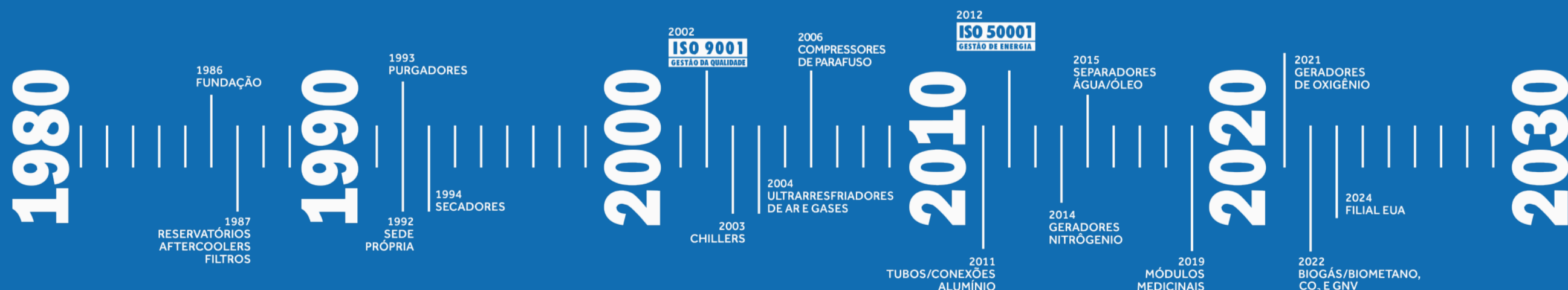
Líder absoluta em compressores de parafuso até 25 hp no país, a Metalplan é o primeiro fabricante* do mundo certificado ISO 50001 – Gestão de Energia, demonstrando seu compromisso com a eficiência energética, base para a sustentabilidade e a competitividade das empresas.

Fundada em 1986, possui área produtiva de 6 mil m², onde desenvolve equipamentos inovadores, com alto índice de nacionalização, exportando para mais de 20 países.

Sua rede de Distribuidores e Serviços Autorizados conta com mais de 300 empresas altamente especializadas e elevada cobertura geográfica, capazes de atender mais de 100 mil equipamentos em operação.

Nos últimos anos, a Metalplan vem expandindo suas fronteiras para tecnologias disruptivas em gases e energias renováveis, como a geração e compressão onsite de nitrogênio, oxigênio, biogás, biometano, CO₂ e GNV.

*no segmento de ar comprimido, gases e refrigeração industrial



ISO 9001

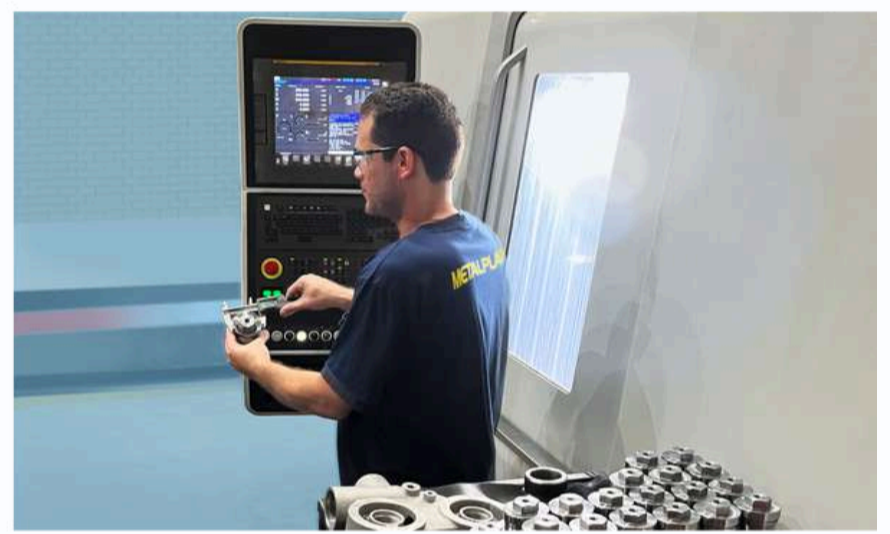
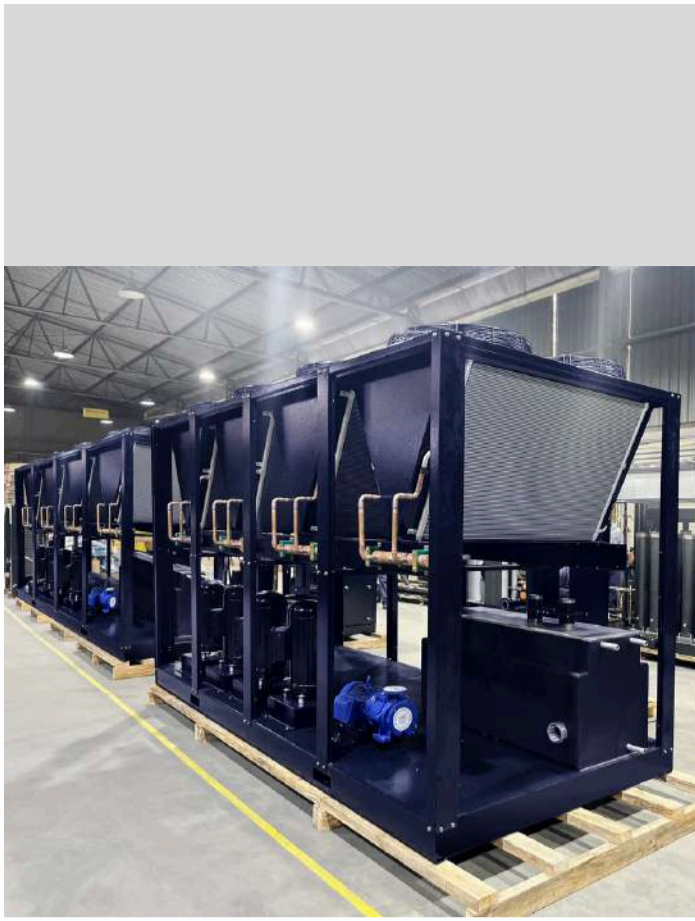


ISO 50001



**PRIMEIRO FABRICANTE
DE COMPRESSORES DO
MUNDO CERTIFICADO**

**ISO 50001
GESTÃO DE ENERGIA**



Bibliografia

International Standard ISO-8573-1- First edition 1991-12-15 Compressed air for general use Part 1: contaminants and quality classes

International Standard ISO-7183 - First edition 1986-03-15 Compressed air dryers - Specifications and testing

Occupational Safety and Health Standard (07-01-1999) OSHA 1910.134: respiratory protection

Compressed Air and Gas Handbook / CAGI John P. Rollins, editor - Fifth edition - 1989

Quality Standard for Instrument Air / Instrument Society of America ISA-S7.3 - 1975 (R1981)

O Tratamento de Ar Comprimido Como Fator de Redução de Custos na Indústria - CSAG - ABIMAQ - 2001

Pneumatic Fluid Power - Compressed Air Dryers - Methods for rating and testing NFPA/T3.27.3M R1-1981

Humidity of Compressed Air, Industrial and Engineering Chemistry E. M. Landsbaun, W. S. Dodds and L. F. Stutzman - Jan. 1955

Erosion by liquids, Machine Design F. J. Heymann - Dec. 10, 1970

Gas-Phase Adsorption, Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers Philip A. Schweitzer, Section 3.1, McGraw-Hill

Critical Thickness of Surface Film in Boundary Lubrication, Journal of Applied Mechanics I-Ming Feng and C. M. Chang - Sep. 1956

High Speed Impact Between a Liquid Drop and a Solid Surface, Journal of Applied Physics, vol.40, n. 13 F. J. Heymann - 1969

www.knopressure.org - compressed air challenge

www.iea.org - International Energy Agency



METALPLAN

www.metalplan.com.br