

## Manual de apoio a curso EFA

### Técnico/a de Refrigeração e Climatização

#### ESAB 2011/2012

#### UFCD 1295 - Instrumentação e controlo - princípios básicos da regulação e complementos de instrumentação

#### *Controlos Automáticos para Sistemas de Refrigeração Industrial*

#### *Danfoss.*

Formador - Mário Loureiro, [www.MarioLoureiro.net](http://www.MarioLoureiro.net).

## 1- Introdução

O objectivo deste manual é o de apresentar respostas às diversas questões relativas ao controlo do sistema de refrigeração industrial: - Por que um certo método de controlo é necessário para o sistema de refrigeração? Por que ele deve ser projectado desta forma? Que tipo de componentes podem ser utilizados? Como seleccionar métodos de controlo para diferentes sistemas de refrigeração? Ao responder a essas questões, são introduzidos os princípios dos diferentes métodos de controlo, seguidos de exemplos onde os mesmos são utilizados, e compreendendo os produtos da Danfoss para Refrigeração Industrial.

Para o diagrama que se exhibe é explicado resumidamente a necessidade do controlos e quais.

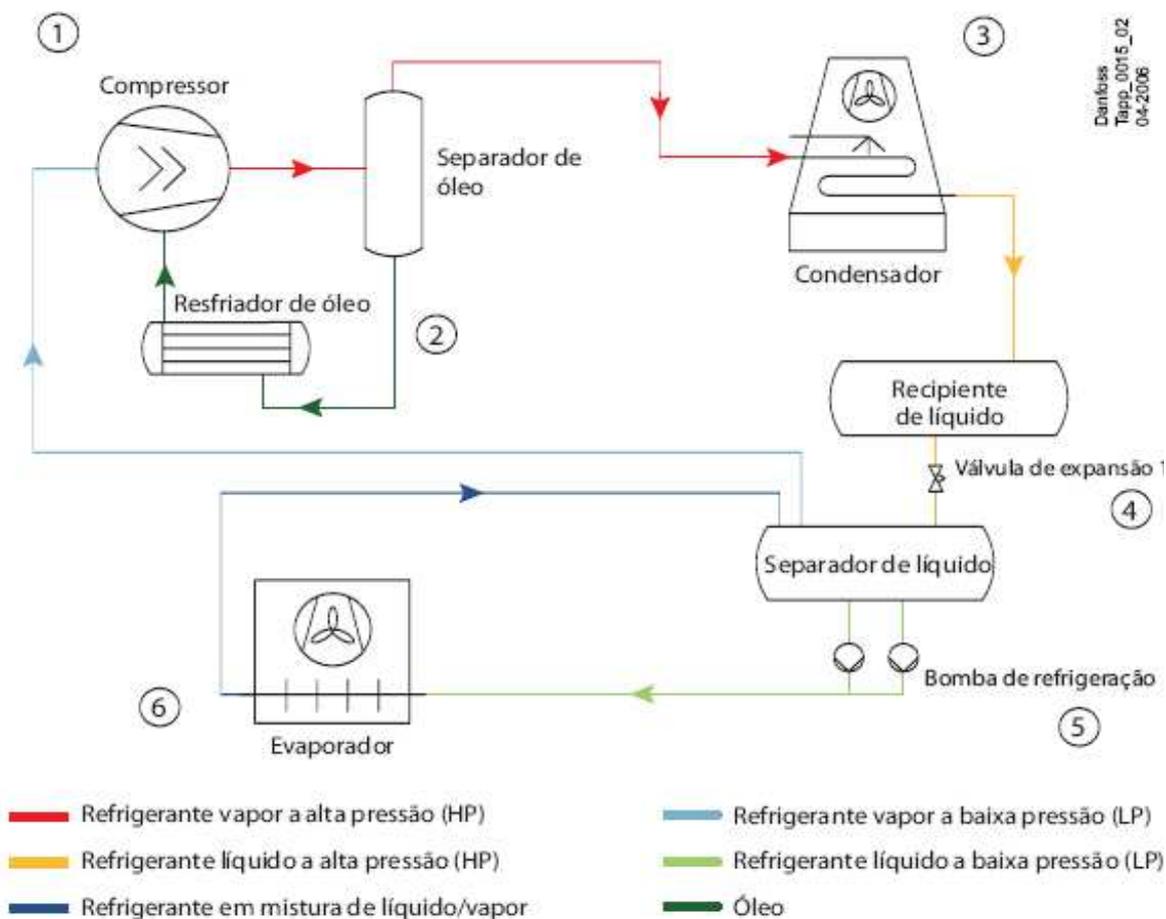


Fig 1.1 Sistema de Refrigeração com Recirculação por Bomba

### 1.1 - Controlo do compressor

Porquê?

- Primário: para controlar a pressão de sucção;
- Secundário: funcionamento fiável do compressor (partida/paradas, etc.)

Como?

- Controla-se a capacidade do compressor de acordo com a carga de refrigeração através do desvio do gás do lado da alta pressão High Pressure (HP) de volta para o lado da baixa pressão Low Pressure (LP), controlo através de ON/OFF (liga/desliga) de estágios do compressor ou por controlador da velocidade de rotação do compressor;
- Instalar uma válvula de retenção na linha de descarga para evitar o contra-fluxo do refrigerante para o compressor;
- Mantendo as pressões e temperaturas na sucção e descarga do compressor dentro da faixa de trabalho.

### 1.2 - Controlo do óleo

Porquê?

- Manter a pressão a temperatura e o nível de óleo ideais para garantir um bom funcionamento do compressor.

Como?

- Pressão: mantendo e controlando o diferencial de pressão por todo o compressor para que possa ocorrer a circulação de óleo, mantendo a pressão do cárter (somente para compressores alternativos);
- Temperatura: pelo by-pass de algum óleo do radiador de óleo, controlando o ar ou a água de arrefecimento para o radiador de óleo;
- Nível: fazendo o retorno do óleo nos sistemas de amoníaco e nos sistemas de baixa temperatura com fluorados.

### **1.3 - Controlo do condensador**

Porquê?

- Manter a pressão de condensação acima do valor mínimo aceitável para garantir vazão suficiente através dos dispositivos de expansão;
- Assegurar uma distribuição correcta do refrigerante pelo sistema.

Como?

- Executando a operação on/off (liga/desliga) ou o controlo de velocidade dos ventiladores do condensador, controlando a descarga da água de arrefecimento, deixando os condensadores cheios de líquido refrigerante.

### **1.4- Controlo do Nível de Líquido**

Porquê?

- Assegurar a correcta descarga de refrigerante líquido do lado de alta pressão para o lado de baixa pressão, de acordo com a necessidade efectiva;
- Assegurar uma operação segura e fiável dos dispositivos de expansão.

Como?

- Controlando o grau de abertura do dispositivo de expansão de acordo com a alteração do nível do líquido.

### **1.5 - Controlo da bomba de refrigerante**

Porquê?

- Permitir que a bomba opere sem problemas, mantendo a vazão dentro da faixa permissível de operação;
- Mantendo constante, em alguns sistemas, a pressão diferencial da bomba.

Como?

- Projectando um sistema de by-pass de modo que a vazão possa ser mantida acima do mínimo permissível;
- Desligar a bomba se ela não conseguir atingir suficiente pressão diferencial.
- Instalar uma válvula reguladora de pressão.

### **1.6 - Controlo do sistema de evaporação**

Porquê?

- Primário: Manter uma pressão constante do meio utilizado;
- Secundário: otimizar a operação dos evaporadores;
- Para sistemas de expansão directa: garantir que nenhum líquido refrigerante dos evaporadores entre na linha de sucção do compressor.

Como?

- Mudando a taxa de descarga do refrigerante nos evaporadores de acordo com a necessidade
- Fazendo sempre que necessário o descongelamento dos evaporadores.

### **1.7 - Sistemas de segurança**

Porquê?

- Evitar deixar os vasos de pressão desprotegidos;
- Proteger o compressor contra danos causados por golpes de ariete (de líquido), sobrecarga, falta de lubrificação e alta temperatura, etc.;
- Proteger a bomba contra danos por cavitação.

Como?

- Instalar válvulas de alívio de segurança nos vasos e em outros locais necessários;
- Desligando o compressor e a bomba de refrigerante se a pressão de sucção/descarga ou se o diferencial de pressão estiver fora da faixa permissível;
- Desligando o sistema ou parte do sistema quando o nível no separador de líquido ou no recipiente de líquido exceder o valor permissível.

## 2 - Controlos do Compressor

O compressor é o "coração" do sistema de refrigeração. Ele tem duas funções básicas:

- a) Manter a pressão no evaporador de modo que o refrigerante líquido possa evaporar na temperatura requerida.
- b) Comprimir o fluido refrigerante de modo que o mesmo possa ser condensado numa temperatura normal.

A função básica do controlo do compressor, é a de ajustar a capacidade do compressor à necessidade efectiva do sistema de refrigeração, de modo que a temperatura de evaporação requerida possa ser mantida. Se a capacidade do compressor for maior que a necessidade, a pressão e temperatura de evaporação serão mais baixas que as requeridas e vice-versa.

Além disto, não se deve permitir a operação do compressor fora de sua faixa de temperatura e pressão aceitáveis com objectivo de se tentar otimizar as condições de funcionamento.

### 2.1 Controlo da Capacidade do Compressor

Em sistemas de refrigeração o compressor é normalmente seleccionado para que seja capaz de satisfazer a maior carga possível de refrigeração. No entanto, durante a operação normal, muitas vezes a carga de refrigeração é inferior à carga de refrigeração de projecto. Isto significa que é sempre necessário controlar a capacidade do compressor para que ela seja adequada à carga efectiva do calor a ser removido. Há diversas formas para controlar a capacidade do compressor:

#### 2.1.1 Por Estágios.

Isto significa desactivar cilindros em um compressor de vários estágios de capacidade, abrir e fechar as portas de sucção de um compressor por parafusos ou fazer a parada e partida de alguns compressores em um sistema com vários compressores. Este sistema é simples e conveniente. Além disto, a eficiência diminui muito pouco durante o período em que o sistema está em carga parcial. É especialmente aplicável a sistemas com diversos compressores alternativos com vários cilindros.

#### 2.1.2 Controlo da válvula de deslizamento "slide valve".

O dispositivo mais comum utilizado para controlar a capacidade de um compressor por parafusos é a válvula de deslizamento "slide valve", a qual é accionada por pressão de óleo.

A actuação desta válvula impede que parte do gás na sucção seja comprimido. A "slide valve" permite uma modulação suave e contínua da capacidade do compressor, de 100% para 10%, mas a eficiência diminui sob carga parcial.

#### 2.1.3 - Controlo da velocidade variável.

Esta solução é aplicável a todos os tipos de compressores e é eficiente. Para variar a velocidade do compressor podem ser usados motores eléctricos de duas velocidades ou um conversor de frequência. O motor eléctrico de duas velocidades controla a capacidade do compressor operando em alta velocidade quando a carga térmica for alta (por exemplo, período de resfriamento) e em baixa velocidade quando a carga térmica for baixa (por exemplo, período de armazenamento).

O conversor de frequência pode variar a velocidade de rotação continuamente para satisfazer a necessidade efectiva.

### 2.1.4 - By-pass do gás quente.

Esta solução é aplicável a compressores com capacidades fixas e é mais facilmente encontrado na refrigeração comercial.

Para controlar a capacidade de refrigeração, parte do fluxo de gás quente na linha de descarga é desviado para o lado de baixa pressão. Isto auxilia a diminuir a capacidade de refrigeração de duas formas: diminuindo o fornecimento de refrigerante líquido e libertando algum calor para o circuito de baixa pressão.

Exemplo de aplicação 2.1.1 - Controlo por estágios da capacidade do compressor

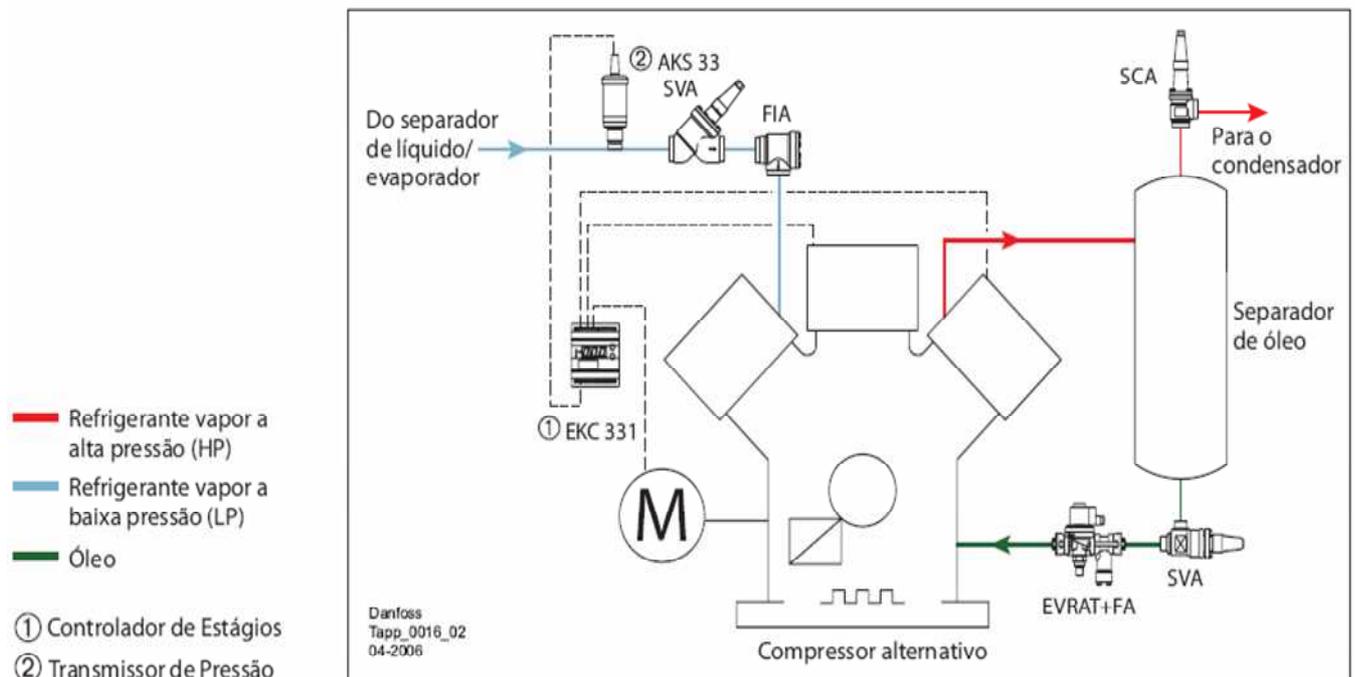


Fig 2.1 Circuito de controlo da capacidade do compressor por estágios

A solução para o controlo em estágios da capacidade do compressor pode ser encontrada utilizando um controlador por estágios EKC 331. O EKC 331 é um controlador de quatro estágios com saída até quatro relés. Ele controla o aumento/redução da capacidade dos compressores, o liga/desliga dos pistões ou do motor eléctrico do compressor de acordo com o sinal de pressão do transmissor de pressão AKS 33 ou AKS 32R instalado na tubulação de sucção.

Com base no controlo de zona neutra, o EKC 331 é capaz de controlar, por estágios, um sistema composto por até quatro compressores iguais ou, alternativamente, dois compressores controlados por capacidade (cada um deles com uma válvula de carga).

A versão EKC 331T aceita um sinal de um sensor de temperatura PT 1000, que pode ser necessário para sistemas com fluido secundário.

#### Controlo da Zona Neutra

A zona neutra é estabelecida próxima ao valor de referência onde não ocorra aumento / redução de carga. Fora da zona neutra (nas áreas sombreadas "+zone" e "- zone") ocorrerá o aumento / redução de carga à medida que a pressão medida for desviando dos valores ajustados de zona neutra.

Se o controlo ocorrer fora da área sombreada (chamada de +zone e -zone), as mudanças na capacidade com activação do controlador de alguma forma ocorrerão mais rapidamente do que se estivesse dentro da área sombreada.

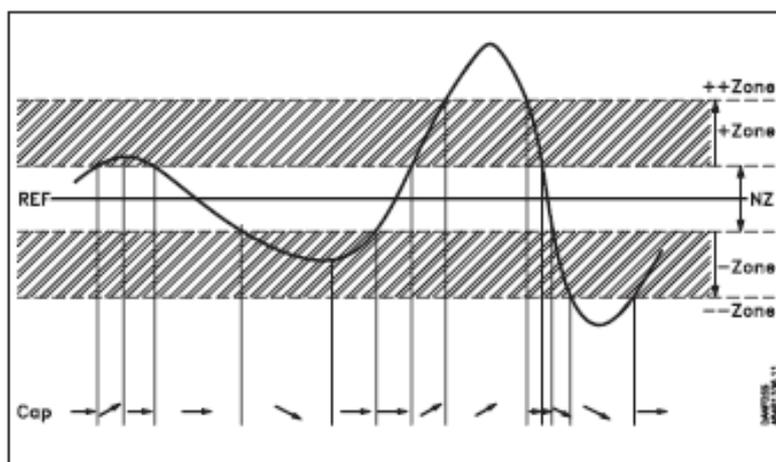


Fig 2.2 Controlo da Zona Neutra

Exemplo de aplicação 2.1.2 - Controlo da capacidade do compressor por desvio de gás quente (hot gas by-pass)

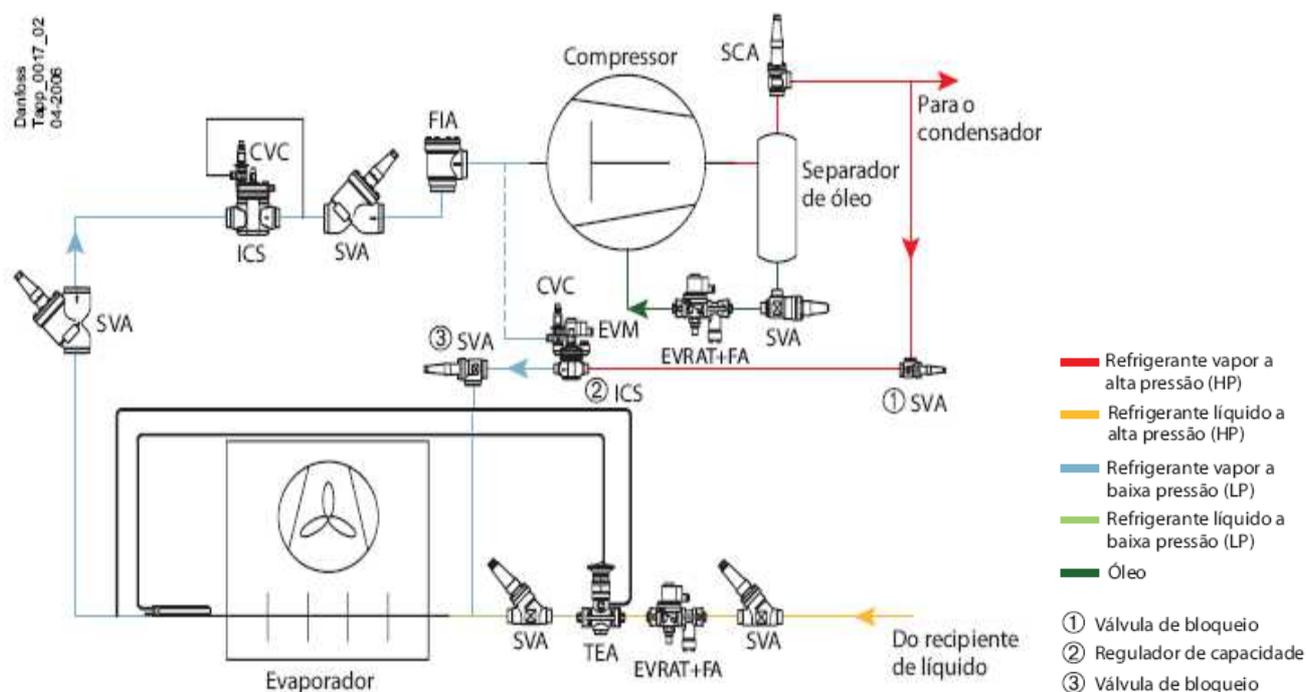
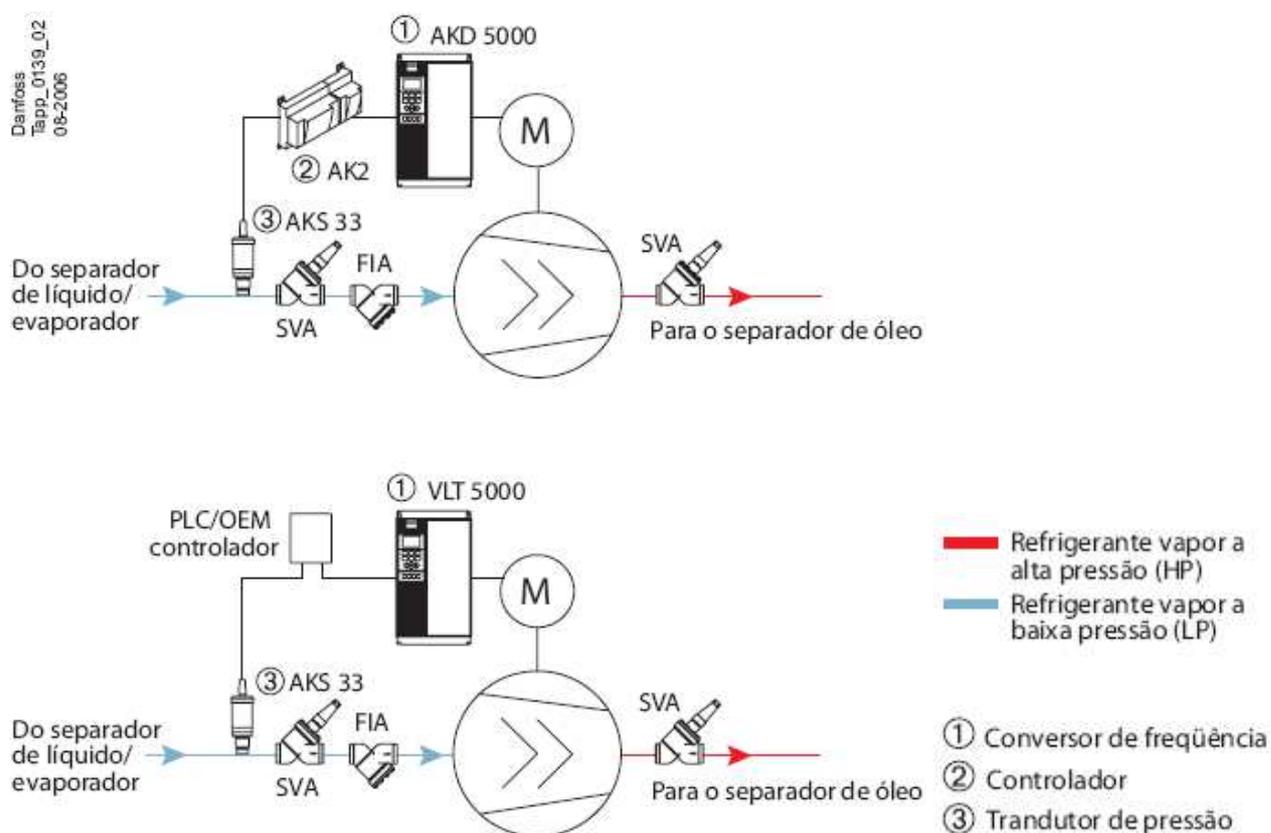


Fig 2.2 Controlo da capacidade do compressor por desvio do gás quente

O desvio do gás quente pode ser utilizado para controlar a capacidade de refrigeração em compressores que não possuem sistema para controlo de capacidade.

A servo-válvula operada por piloto ICS juntamente com uma válvula piloto CVC é utilizada para controlar a vazão de gás quente a ser desviado de acordo com a pressão na linha de sucção. A CVC é uma válvula piloto controlada por contrapressão que abre a ICS e aumenta a vazão de gás quente quando a pressão de sucção estiver abaixo do valor ajustado. Desta forma, a pressão de sucção na entrada do compressor é mantida constante, portanto a capacidade de refrigeração satisfaz a carga efectiva de refrigeração.

Exemplo de aplicação 2.1.3: Controlo da capacidade com a variação de velocidade do compressor



**Fig 2.3** Controlo da capacidade por variação da velocidade do compressor

O emprego do conversor de frequência oferece as seguintes vantagens:

- Economia de energia
- Melhor controlo e qualidade do circuito
- Redução do nível de ruído do compressor
- Maior vida do compressor
- Instalação simples
- Controlo completo e programação facilitada

## 2.2 Controlo da temperatura de descarga com injeção de líquido

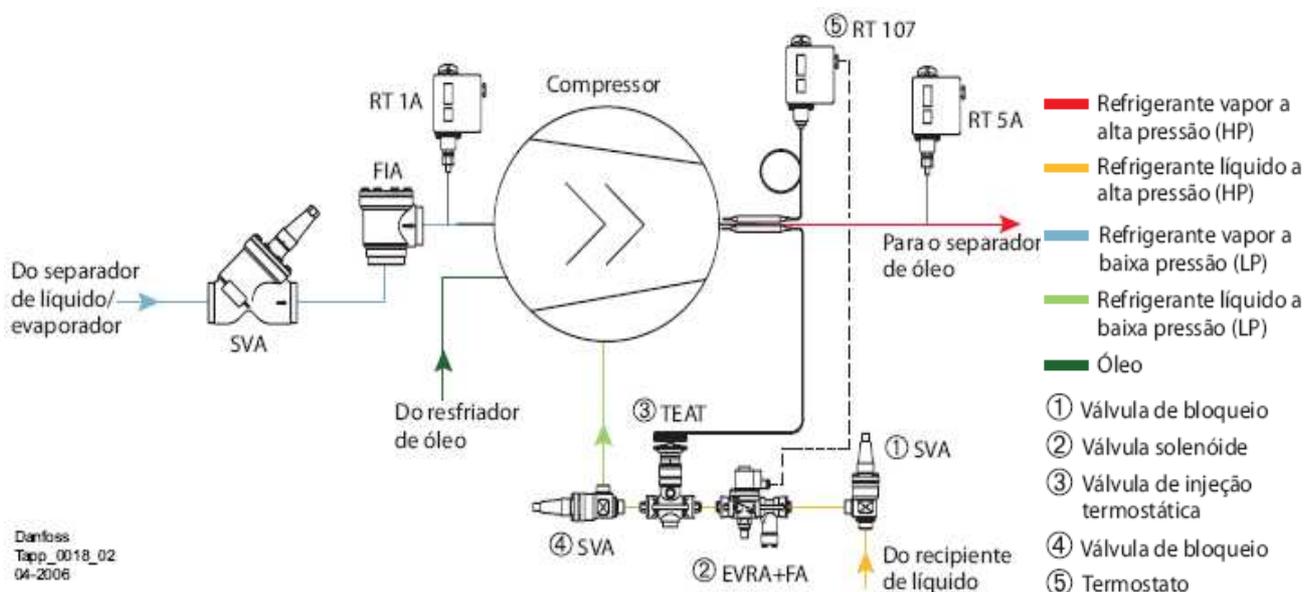
Os fabricantes de compressores geralmente recomendam limitar a temperatura de descarga abaixo de um certo valor para evitar o sobreaquecimento do óleo, prolongando assim a vida útil dos compressores e impedindo o mal funcionamento devido a temperaturas muito altas do óleo.

A partir do diagrama log p-h é possível notar que a temperatura de descarga pode ser alta quando:

- o compressor opera numa alta pressão diferencial.
- o compressor recebe na sucção vapor com alto grau de superaquecimento.
- o compressor funciona com o controlo de capacidade por desvio de gás quente (hot gas bypass).

Há diversas formas de reduzir a temperatura de descarga. Uma forma é a utilização, em compressores alternativos, de cabeças resfriados a água, outro método é a injeção de líquido pelo qual o refrigerante líquido da saída do condensador ou do recipiente é injectando na linha de sucção, no radiador intermediário ou na porta lateral do compressor parafuso.

Exemplo de Aplicação 2.2.1 - Injeção de líquido coma válvula de injeção termostática

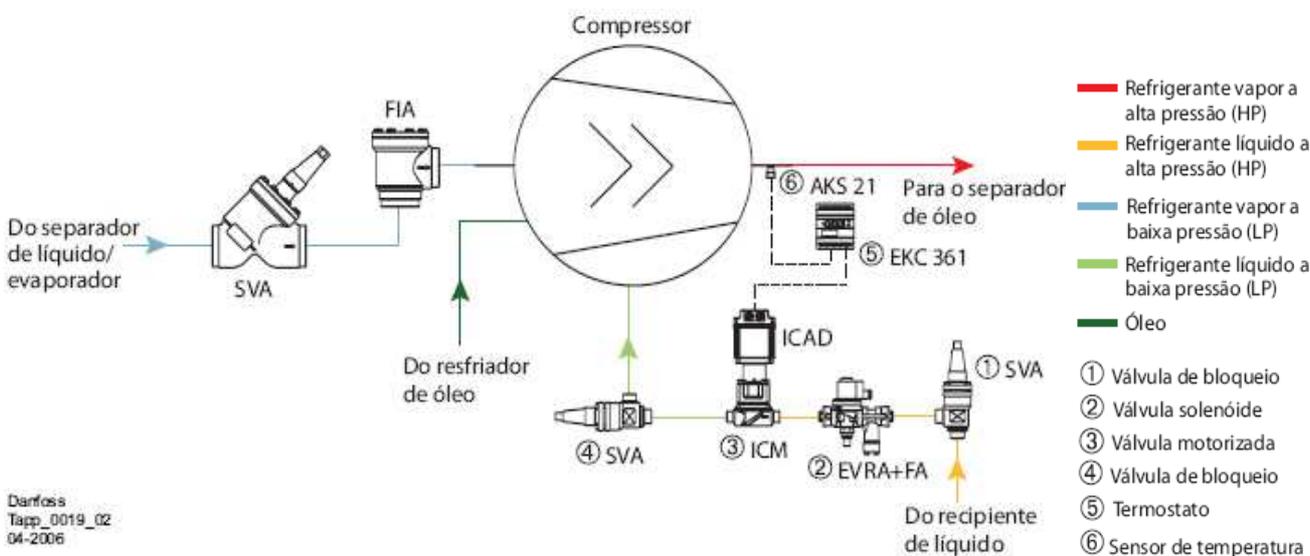


**Fig 2.4 Controlo da temperatura de descarga por injeção de líquido**

Quando a temperatura de descarga subir acima do valor de ajuste do termostato RT 107, o RT 107 ligará a válvula solenóide EVRA a qual permitirá o início da injeção de líquido na porta lateral do compressor parafuso.

A válvula de injeção termostática TEAT controla a vazão de líquido injectado de acordo com a temperatura de descarga impedindo que esta temperatura de descarga aumente ainda mais.

#### Exemplo de Aplicação 2.2.2 - Injecção líquida com válvula motorizada



**Fig 2.5 Controlo da temperatura por injeção líquida com válvula motorizada**

Uma solução para o controlo de injeção de líquido de forma electrónica pode ser obtida por meio de uma válvula motorizada ICM. O sensor de temperatura AKS 21 e PT 1000 registrará a temperatura de descarga e transmitirá o sinal para o controlador de temperatura EKC 361.

Se a temperatura alcançar o valor de ajuste, o EKC 361 enviará um sinal de controlo para o actuador ICAD que ajustará o grau de abertura da válvula motorizada ICM de modo que a temperatura de descarga seja limitada.

Exemplo de Aplicação 2.2.3 - injeção de líquido com válvula ICF

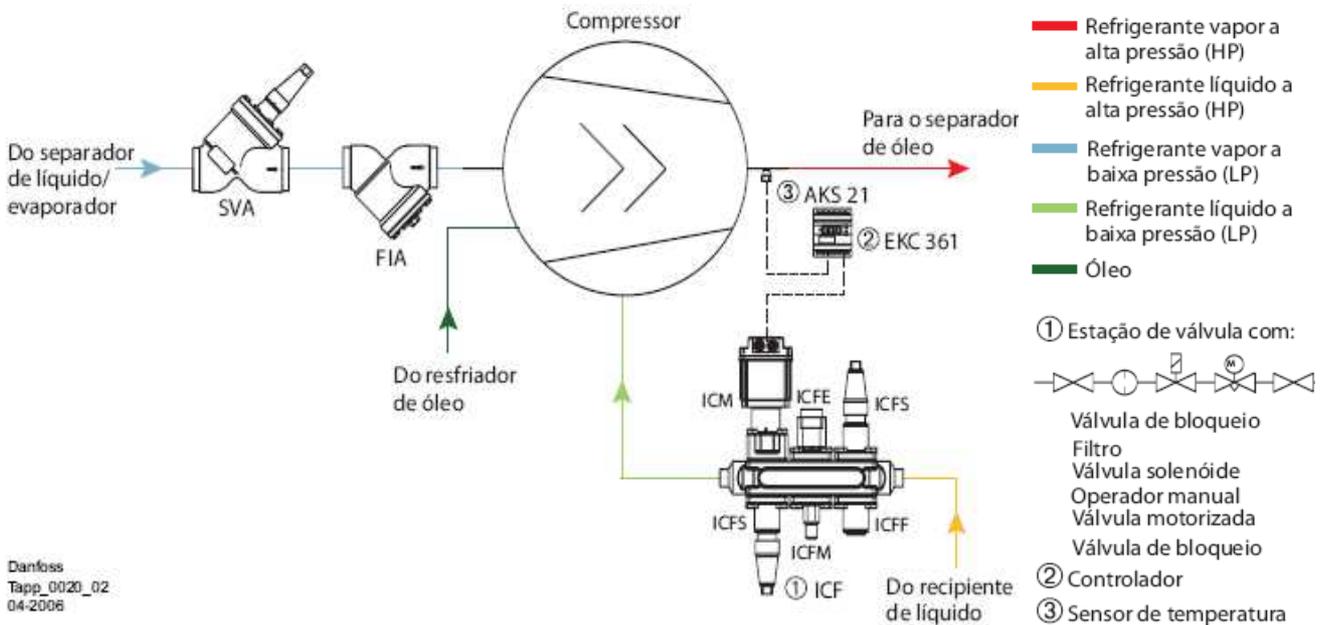


Fig 2.6 Controlo da temperatura por injeção líquida com válvula ICF

Para a injeção de líquido, a Danfoss tem uma solução de controlo bem compacta, a válvula ICF. Até seis módulos distintos podem ser montados na mesma carcaça. Esta solução opera da mesma maneira que apresentado no exemplo 2.2.2, no entanto ocupa um espaço bem reduzido e é mais fácil de instalar.

### 2.3 Controlo da Pressão do Cáter

Durante a partida ou após o degelo, a pressão de sucção deve ser controlada, caso contrário ela poderá ser muito alta e o motor do compressor será sobrecarregado. O motor eléctrico do compressor pode ser danificado por esta sobrecarga (algumas ou muitas espiras das bobinas podem ficar em curto-circuito).

Há duas formas de solucionar este problema:

1. Dar a partida no compressor com carga parcial. Os métodos de controlo de capacidade podem ser utilizados para o arranque do compressor com uma carga parcial, por exemplo, desactivando alguns dos pistões para compressores alternativos com vários pistões ou desviando algum gás de sucção para compressores parafusos com "slide valve", etc.
2. Controlo da pressão do cárter para compressores alternativos. A pressão de sucção poderá ser mantida em um certo nível através da instalação, na linha de sucção, de uma válvula reguladora controlada por contra pressão que não abrirá até que a pressão na linha de sucção tenha caído abaixo do valor de ajuste.

#### Exemplo de Aplicação 2.3.1 - Controlo da pressão do cárter com válvulas ICS e CVC

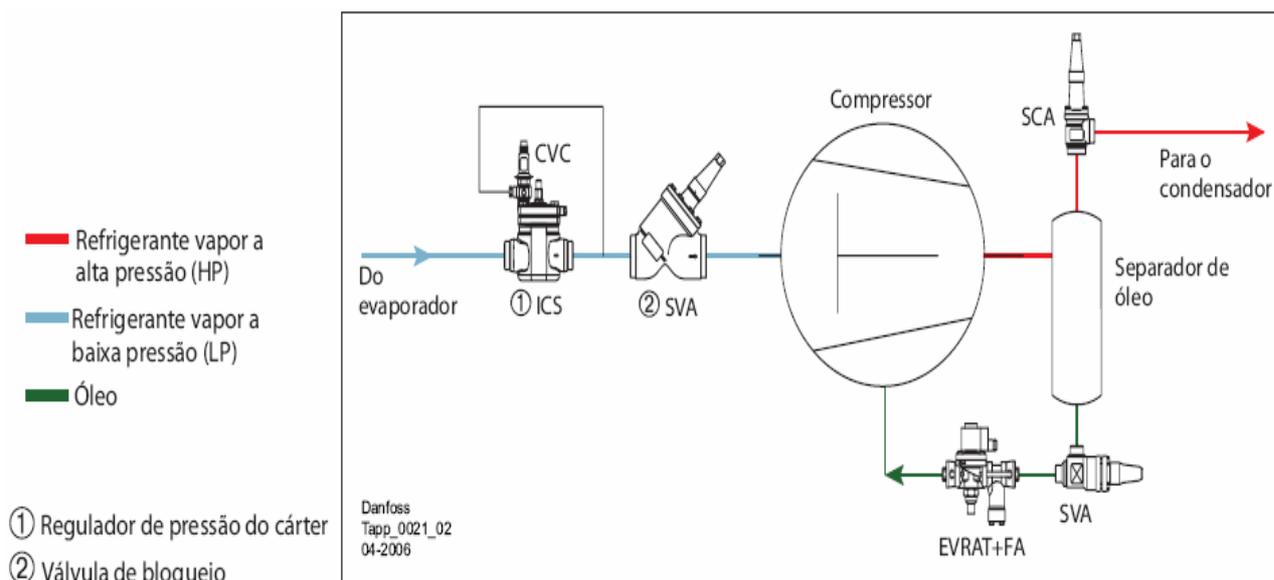


Fig 2.7 Controlo da pressão do cárter com válvulas ICS e CVC

Para possibilitar o controlo da pressão do cárter durante a partida, após o degelo, ou em outros casos quando a pressão de sucção se elevar demasiadamente, devem ser instaladas na linha de sucção a servo válvula operada por piloto ICS com a válvula piloto controlada por contra pressão CVC.

A ICS não abrirá até que a pressão de sucção a jusante caia abaixo do valor de ajuste da válvula piloto CVC. Desta forma, o vapor de alta pressão na linha de sucção pode ser aliviado para o cárter gradualmente, o que assegura uma capacidade controlável do compressor.

Exemplo de Aplicação 2.3.2 - Controlo da pressão do cárter com ICS e CVP - ( $P > 17$  bar)

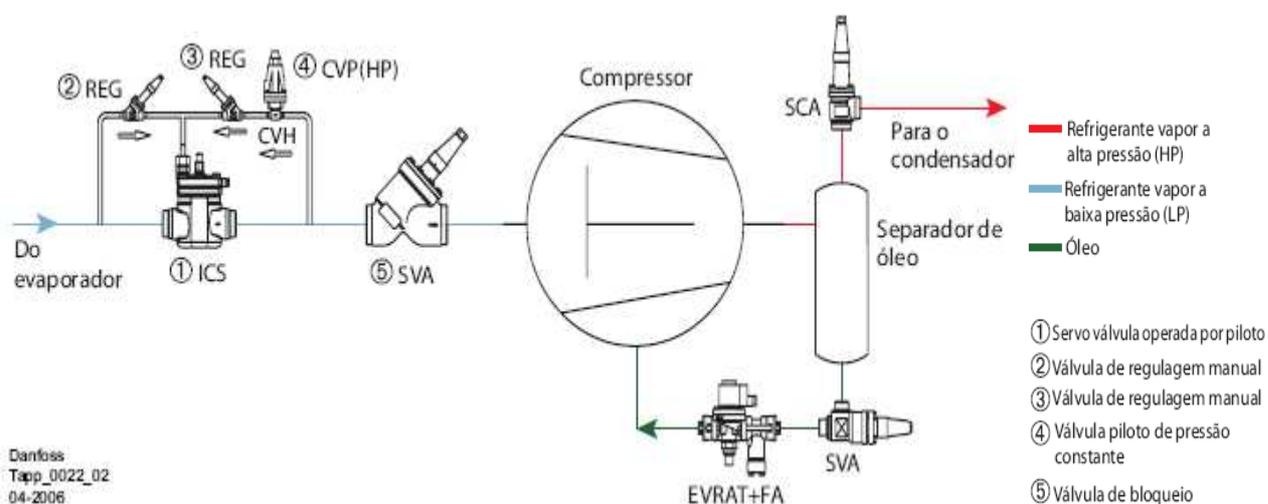


Fig 2.68 Controlo da pressão do cárter com ICS e CVP - ( $P > 17$  bar)

Para os sistemas de refrigeração com a pressão de sucção acima de 17 bar (por exemplo, sistema com CO<sub>2</sub>), a válvula piloto CVC não pode ser utilizada. O controlo de pressão do cárter pode ser obtida utilizando a válvula piloto de pressão constante CVP.

A pressão máxima de sucção requerida é ajustada na válvula piloto CVP. Quando a pressão de sucção alcançar o valor de ajuste, o CVP abre.

Uma vez que o vapor de alta pressão no servo pistão da válvula principal ICS é aliviado para a linha de sucção, a pressão sobre o pistão diminui e a válvula começa a fechar. Isto evitará que a pressão na sucção aumente acima do valor de ajuste.

Após a operar por algum tempo, o compressor puxará uma quantidade suficiente de vapor do evaporador capaz de fazer com que a pressão de evaporação caia abaixo daquela ajustada na CVP.

Quando isto estiver ocorrido, o CVP fechará e a válvula principal ICS abrirá. Durante a operação normal a válvula ICS estará completamente aberta. As válvulas de regulação REG (2 e 3) são ajustadas para uma abertura que resulta num tempo de abertura e fechamento adequados na válvula principal.

O CVH para o piloto CVP deve ser instalado contra a direcção do fluxo principal, conforme mostrado no diagrama.

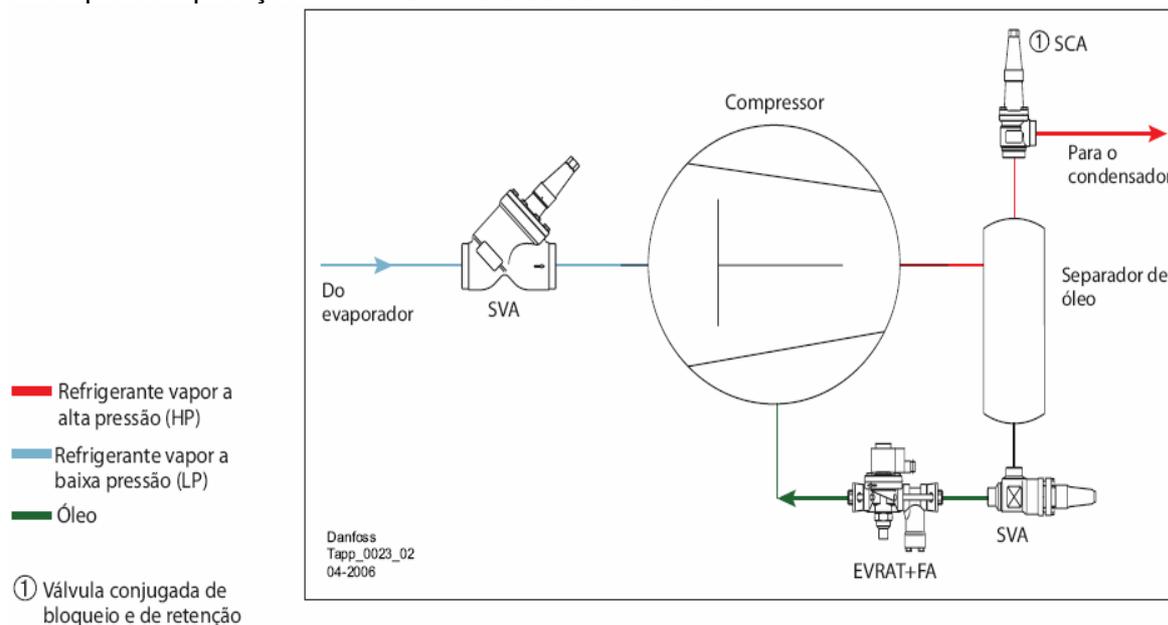
### 2.4 Controlo do Contra-Fluxo

O contra-fluxo do refrigerante do condensador e a condensação de refrigerante no separador de óleo e no compressor deverão sempre ser evitados.

Para os compressores de pistão, o contra-fluxo pode resultar em golpe de aríete. Para os compressores parafuso, o contra-fluxo pode causar rotação contrária e danificar os mancais do compressor.

Além disso, durante as paradas de curta duração, deverá ser evitada a migração da refrigeração para o separador de óleo e também para o compressor. Para evitar este contra-fluxo, é necessário instalar uma válvula de retenção na saída do separador de óleo.

#### Exemplo de Aplicação 2.4.1 - Controlo do contra-fluxo



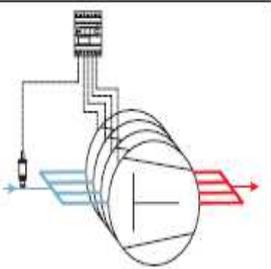
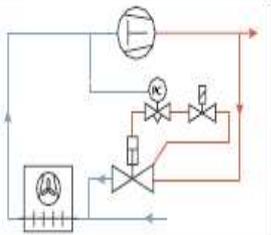
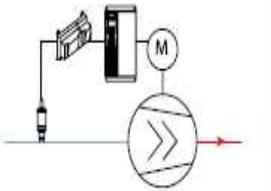
Circuito de controlo do contra-fluxo

A válvula conjugada de bloqueio e de retenção SCA funciona como uma válvula de retenção quando o sistema está em operação normal, como também permite isolar a linha de descarga para serviços de manutenção como uma válvula de bloqueio convencional. Esta solução combinada de válvula de bloqueio/retenção é mais fácil instalar e tem uma resistência ao escoamento inferior quando comparada a solução que adopta uma válvula de bloqueio normal mais uma da válvula de retenção simples.

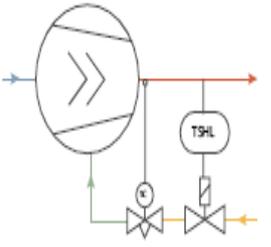
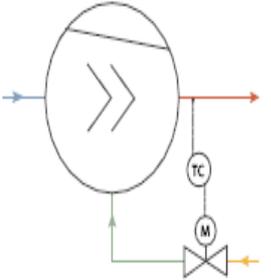
Ao seleccionar uma válvula conjugada de bloqueio e de retenção, é importante observar:

- Considerar as condições de trabalho tanto na capacidade nominal e na parcial.
- A velocidade na condição nominal deverá estar próxima do valor recomendado para o produto, ao mesmo tempo em que a velocidade na condição da carga parcial deverá ser maior do que a velocidade mínima recomendada.

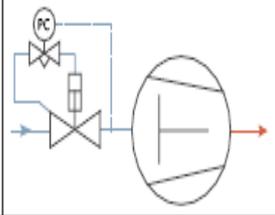
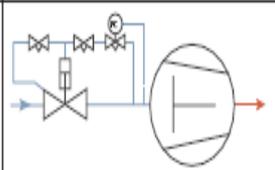
## 2.5 Resumo

Solução		Aplicação	Benefícios	Limitações
<b>Controle da Capacidade do Compressor</b>				
Controle gradual da capacidade do compressor com EKC 331 e AKS 32/33		Aplicável a compressor com vários pistões, compressor parafuso com múltiplas portas de sucção e sistemas com diversos compressores operando em paralelo.	Simple. Quase tão eficiente tanto sob carga parcial quanto em carga total.	O controle não é contínuo, especialmente quando houver somente alguns estágios. Flutuações na pressão de sucção.
Controle da capacidade do compressor por desvio de gás quente utilizando a ICS e CVC		Aplicável a compressor com capacidades fixa.	Eficaz para controlar a capacidade continuamente de acordo com a carga térmica requerida. O gás quente pode ajudar o retorno do óleo do evaporador.	Não é eficiente em carga parcial. Alto consumo de energia.
Controle de variação da velocidade do compressor		Aplicável a todos os compressores que trabalham em velocidades reduzidas	Baixa corrente de partida Economia de energia Baixo nível de ruído Vida mais longa do compressor Instalação simples	O AKD2800 não pode ser aplicado à compressores de pistão. O compressor deve poder trabalhar em velocidades baixas

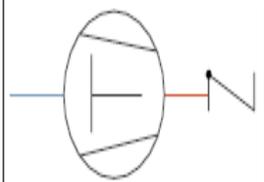
## Controle da Temperatura de Descarga com Injeção de Líquido

Solução mecânica para injeção de líquido com TEAT, EVRA(T) e RT		Aplicável a sistemas onde as temperaturas de descarga possam ser muito altas.	Simple e eficaz.	A injeção de líquido refrigerante pode ser perigosa para o compressor. Menor eficácia do que um resfriador intermediário.
Solução eletrônica para o controle de injeção de líquido com EKC 361 e ICM		Aplicável a sistemas onde as temperaturas de descarga possam ser muito altas.	Flexível e compacto. Possível de ser monitorado e controlado remotamente.	Não aplicável a refrigerantes inflamáveis. A injeção de líquido refrigerante pode ser perigosa ao compressor. Menor eficácia do que um resfriador intermediário.
Solução eletrônica para o controle de injeção de líquido com EKC361 e ICF.				

### Controle da Pressão do Cárter

Controle de pressão do cárter com ICS e CVC		Aplicável a compressores alternativos, normalmente utilizados para sistemas pequenos e médios.	Simples e confiável. Eficaz na proteção de compressores alternativos na partida ou após o degelo com gás quente.	Possibilita perda de pressão constante na linha de sucção.
Controle da pressão do cárter com ICS e CVP.				

### Controle do Contra-Fluxo

Controle do contra-fluxo com SCA		Aplicável a todas as instalações de refrigeração	Simples. Fácil de instalar. Baixa resistência ao escoamento.	Possibilita perda de pressão constante na linha de descarga.
----------------------------------	---	--	--	--

## 3 - Controlos do condensador

Nas áreas onde há grandes variações de temperatura do ar ambiente ou das condições de carga é necessário controlar a pressão de condensação para evitar que a mesma baixe para valores muito baixos. Pressões de condensação muito baixas resultam de um diferencial de pressão insuficiente por todos os dispositivos de expansão e fazem com que o evaporador não receba uma quantidade suficiente de refrigerante. Significa que o controlo da capacidade do condensador é utilizado principalmente nas zonas de climas temperados com menor grau nas zonas subtropicais e tropicais.

A ideia básica do controlo, portanto, é a de ajustar a capacidade do condensador quando a temperatura ambiente for baixa, de forma que a pressão de condensação possa ser mantida acima do nível mínimo aceitável. Este controlo da capacidade de condensação pode ser obtido através da regulação do caudal de ar ou água que circula através do condensador ou redução da área efectiva da superfície de troca de calor.

### 3.1 - Condensadores arrefecidos a ar

Um condensador é arrefecido pelo ar ambiente, insuflado por ventiladores axiais ou centrífugos, de baixo para cima e passando através da superfície de troca de calor (tubos com alhetas). O controlo de pressão de condensação para condensadores arrefecidos a ar pode ser realizado das seguintes formas:

#### 3.1.1 - Controlo Gradual de Condensadores arrefecidos a ar

O primeiro método utilizado foi o de instalar um número necessário de dispositivos de controlos de pressão, equivalente ao pressostato Danfoss RT-5, e ajustá-los em diferentes condições de liga e desliga de ventiladores de acordo com a pressão a ser mantida.

O segundo método utilizado para controlar os ventiladores foi a através da instalação de um controlador de pressão de zona neutra equivalente ao da Danfoss tipo RTL. Inicialmente, este método foi utilizado em conjunto com um controlador em estágios, que possuía um número de contactos de acordo com a quantidade de ventiladores existentes. Entretanto este sistema reagia

com muita rapidez e foi necessário utilizar temporizadores para atrasar o ligar e desligar dos ventiladores. O terceiro método é o actual controlador por estágios, EKC-331 da Danfoss.

### 3.1.2 - Controlo de Velocidade dos Ventiladores dos Condensadores arrefecidos a ar

Este método de controlo do ventilador do condensador tem sido utilizado por muitos anos, porém o objectivo principal foi a redução do nível de ruído por motivos de preservação do meio ambiente.

### 3.1.3 - O controlo da área de condensadores arrefecidos a ar

Para o controlo da capacidade de condensadores arrefecidos a ar através do controlo da área de troca térmica do condensador, é necessário um recipiente de líquido. Este deve ter um volume suficiente para ser capaz de acomodar as variações na quantidade de refrigerante no condensador.

O controlo da área do condensador pode ser executado de duas formas:

1 - Com a válvula principal ICS ou PM, pilotada através de válvula piloto de pressão constante CVP (HP), montada na linha de descarga do compressor na entrada do condensador, e uma outra válvula principal ICS, agora pilotada por uma válvula piloto de pressão diferencial CVPP (HP), montado numa tubulação de by-pass entre a linha de descarga do compressor e o recipiente de líquido.

2 - Com uma válvula principal ICS pilotada através da válvula piloto de pressão constante CVP (HP) montada na tubulação entre o condensador e o recipiente de líquido, e uma outra válvula principal ICS agora pilotada através de um piloto de pressão diferencial CVPP (HP) montada numa tubulação de bypass entre a linha de descarga do compressor e o recipiente. Este sistema é utilizado principalmente em refrigeração comercial.

Exemplo de Aplicação 3.1.1 - Controlo gradual dos ventiladores por estágios com o EKC 331

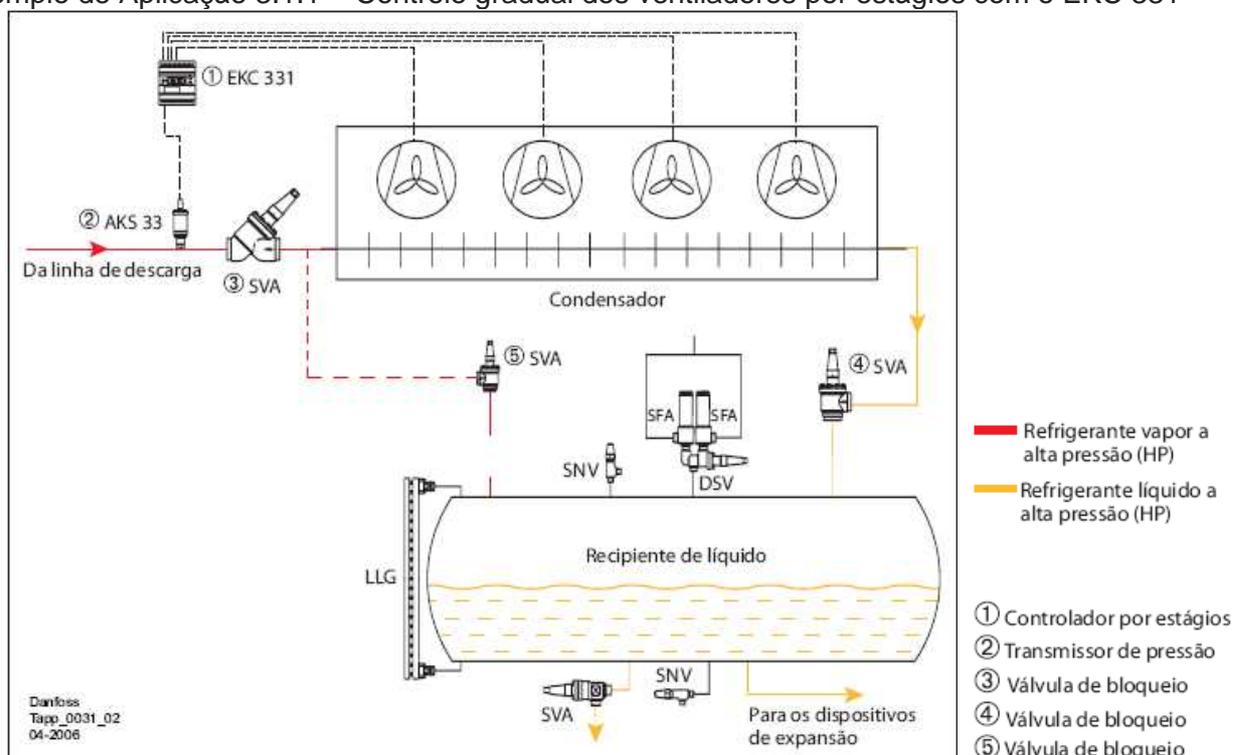


Figura 3.1 – Controlo dos ventiladores com o controlador por estágios EKC 331

O EKC 331 é um controlador de quatro estágios com as quatro saídas do relé. Ele controla a activação dos ventiladores de acordo com o sinal de pressão de condensação do transmissor de pressão AKS 33 ou AKS 32R. Com base no controlo da zona neutra o EKC 331 é capaz de controlar a capacidade de condensação de modo que a pressão de condensação seja mantida acima do nível mínimo exigido.

A linha de by-pass onde a SVA está instalada é um tubo de equalização que ajuda equilibrar a pressão no recipiente de líquido com a pressão de entrada do condensador de modo que o líquido refrigerante no condensador possa ser drenado para este recipiente.

Em algumas instalações, o EKC 3311 é utilizado. Neste caso, o sinal de entrada pode ser de um sensor de temperatura PT 1000, por exemplo, O AKS 21. O sensor de temperatura é normalmente instalado na saída do condensador.

Nota - Esta solução não é tão precisa quanto a solução que utiliza o transmissor de pressão pois a temperatura de saída pode não reflectir correctamente a pressão de condensação devido ao subarrefecimento.

Se o subarrefecimento for muito baixo, pode ocorrer vapor *flash*, quando os ventiladores estiverem partindo.

Exemplo de aplicação 3.1.2 - Controlo de velocidade dos ventiladores de condensadores resfriados a ar

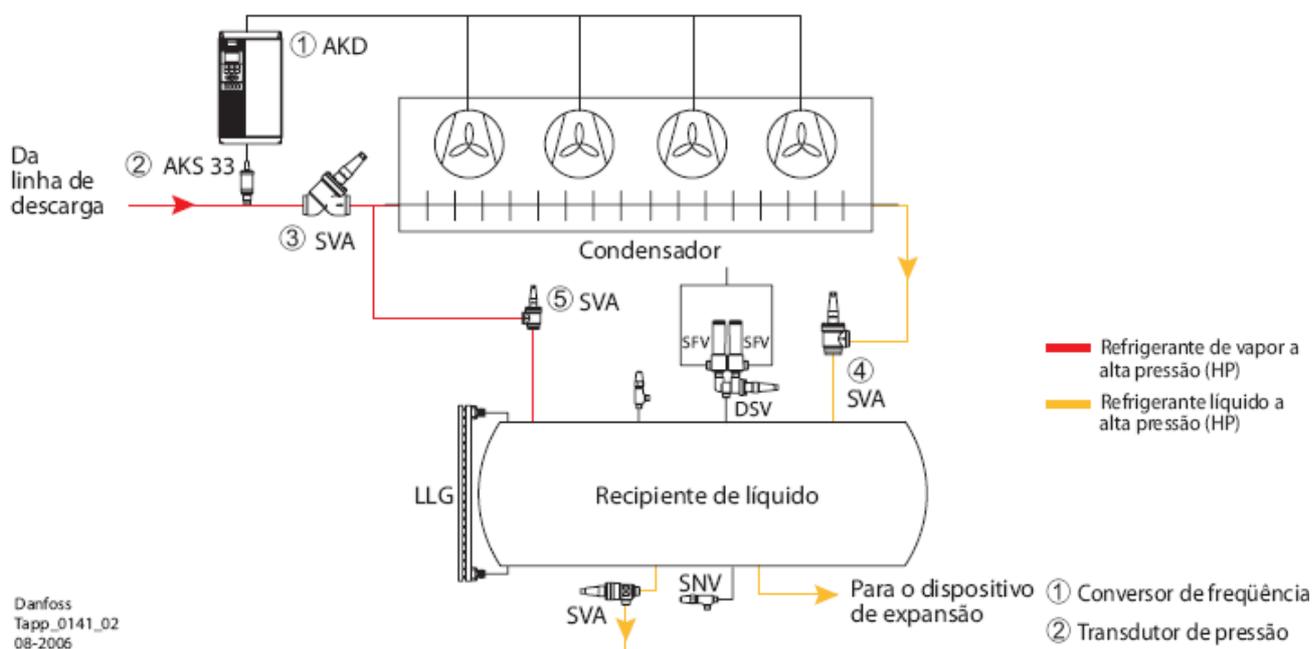


Figura 3.2 – Controlo de velocidade dos ventiladores de condensadores arrefecidos a ar

O controlo por conversor de frequência oferece as seguintes vantagens:

- Economia de energia
- Melhor controlo e qualidade do produto
- Redução do nível de ruído do compressor
- Vida longa do compressor
- Instalação simples
- Controlo completo e programação facilitada

### 3.2 - Condensadores evaporativos

O condensador evaporativo é um condensador arrefecido por ar ambiente combinado com a pulverização de água através de orifícios e deflectores de ar em contra-fluxo com o ar. A água evapora e o efeito de evaporação dos pingos de água aumenta a capacidade de condensação.

Os condensadores evaporativos actuais são envoltos por uma carcaça de aço ou plástico com ventiladores axiais ou centrífugos na parte inferior ou superior do condensador.

A superfície de troca de calor no fluxo de ar húmido é composta por tubos de aço. Acima dos orifícios de pulverização de água (no ar seco) normalmente há um ar quente antes que este alcance o trocador de calor na região de fluxo de ar húmido. Desta forma a formação decorrente de calcificação (depósito de cálcio) na superfície da tubulação do trocador de calor principal é bastante reduzida.

O consumo de água neste tipo de condensador é bastante inferior ao de um condensador normal resfriado a água. O Controlo da capacidade de um condensador evaporativo pode ser obtido ou pelo uso de ventiladores de duas velocidade ou através da instalação de ventiladores com variadores de velocidade, e, em condições de temperaturas ambientes muito baixas, através do desligamento da bomba de circulação de água.

### 3.2.1 - Controlo de Condensadores Evaporativos

O controlo da pressão de condensação ou da capacidade dos condensadores evaporativos pode ser obtido das seguintes formas:

- 1 - Controladores de pressão (pressostatos) RT ou KP para o Controlo do ventilador e da bomba de água (conforme mencionado anteriormente).
- 2 - Controladores de pressão de zona neutra (pressostatos) RT-L para o Controlo do ventilador e da bomba de água.
- 3 - Controlador por estágios para o Controlo de ventiladores com duas velocidades e da bomba de água.
- 4 - Conversores de frequência para o Controlo da velocidade do ventilador e Controlo da bomba de água.
- 5 - Chave de fluxo para alarme no caso de falha na circulação de água.

Exemplo de Aplicação 3.2.1: Controlo por estágios do condensador evaporativo com pressostato RT

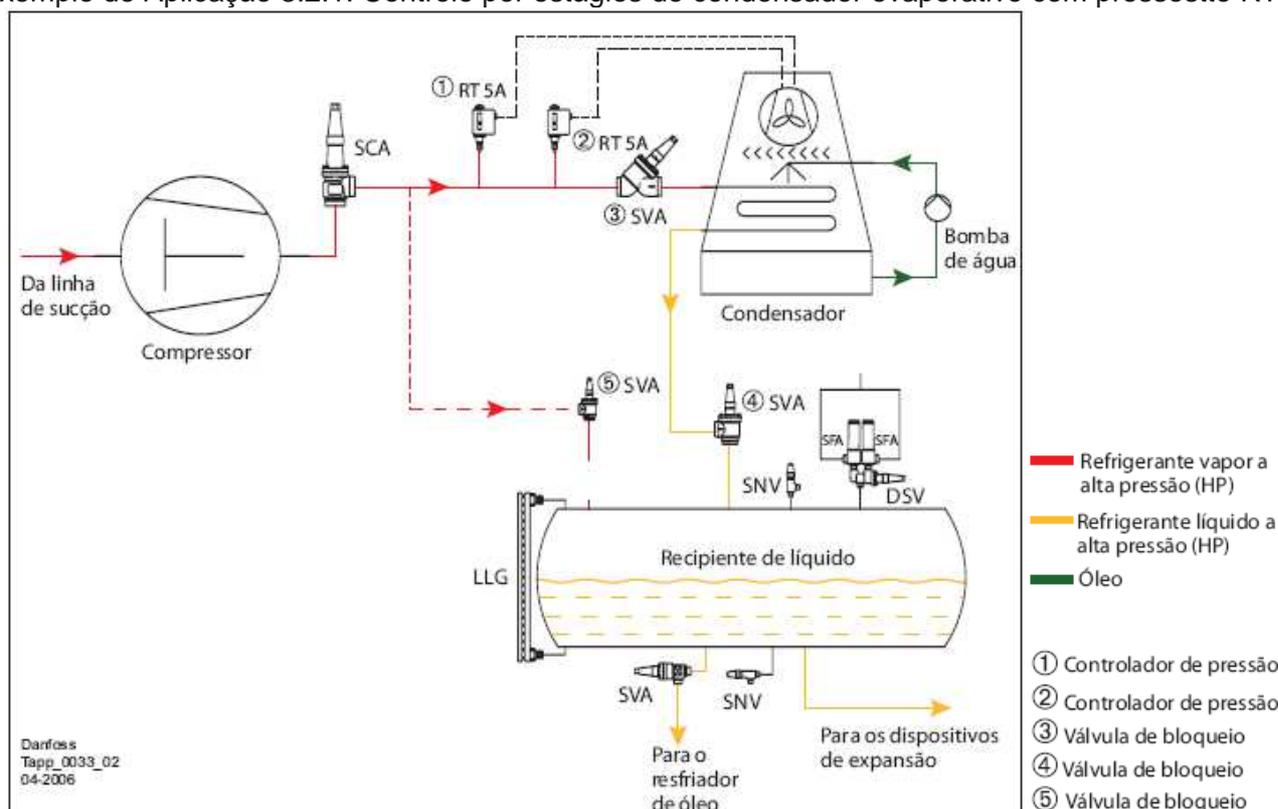


Figura 3.3 – Controlo por estágios do condensador evaporativo com pressostato RT

Esta solução de ajuste mantém a pressão de condensação, assim como a pressão no recipiente de líquido a um nível suficientemente alto sob baixa temperatura ambiente. Quando a pressão na entrada do condensador cair abaixo do valor de ajuste do pressostato RT 5A, este desligará o ventilador para diminuir a capacidade de condensação.

Em temperatura ambiente extremamente baixa, quando a pressão de condensação cair abaixo do valor de ajuste do RT 5A, mesmo após todos os ventiladores terem sido desligados, o RT desligará a bomba de água.

Exemplo de Aplicação 3.2.2 - Controlo gradual do condensador evaporativo com controlador por estágios EKC 331

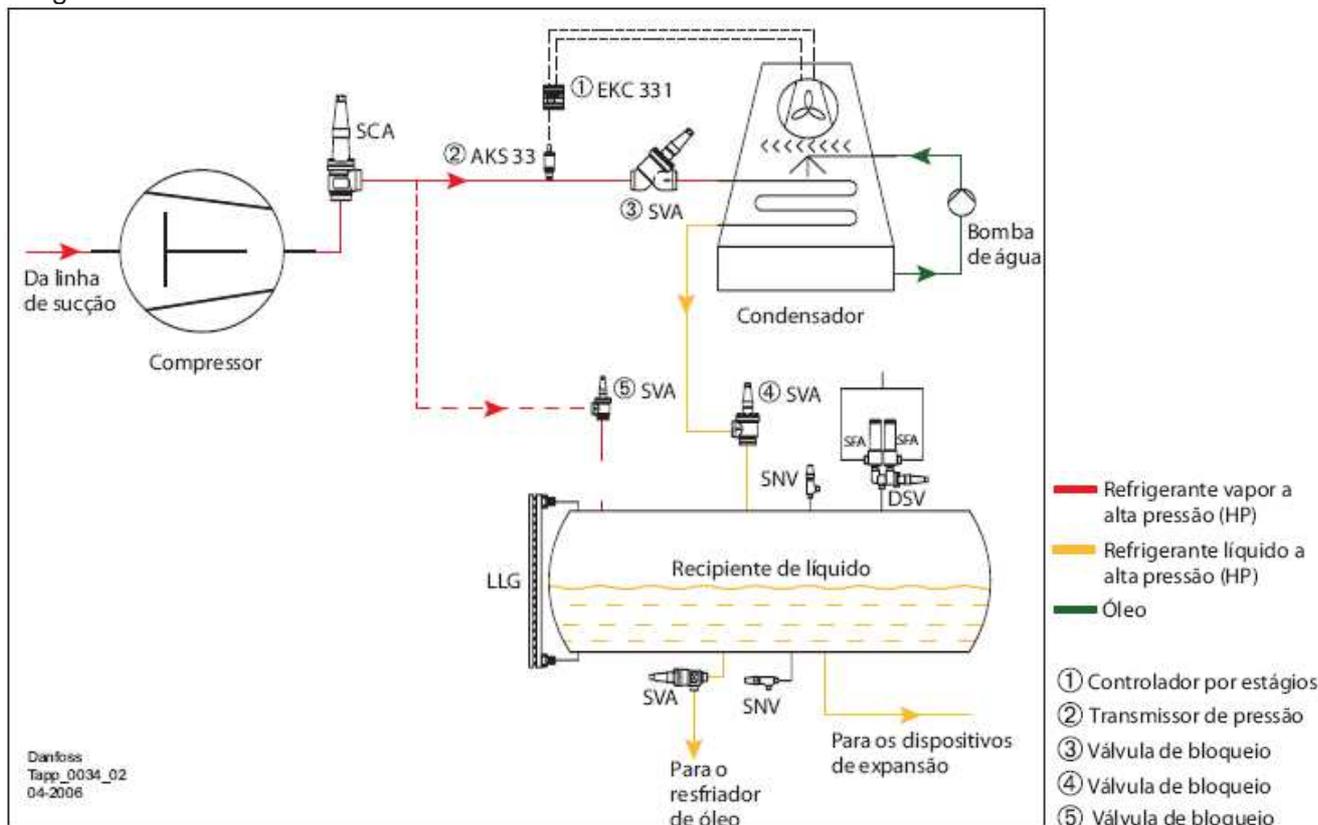


Figura 3.4 – Controlo do condensador evaporativo com controlador por estágios EKC 331

Esta solução funciona da mesma forma daquela representada na imagem anterior, porém operada por controlador por estágios EKC 331.

A solução de controlo por estágios para o compressor pode ser obtida utilizando um controlador gradual EKC 331. O EKC 331 é um controlador de quatro estágios com até quatro saídas para o relé. Ele controla o carregamento/descarregamento dos compressores/pistões ou do motor eléctrico do compressor de acordo com o sinal de pressão de sucção do transmissor de pressão AKS 33 ou AKS 32R.

Com base no controlo de zona neutra o EKC 331 é capaz de controlar um sistema conjunto de compressor com até quatro estágios iguais ou alternativamente dois compressores controlados por capacidade (cada um deles com uma válvula de descarga).

A versão EKC 331T aceita um sinal do sensor de temperatura PT 1000, que pode ser necessário para sistemas secundários.

### 3.4 - Condensadores arrefecidos a água

O condensador arrefecido a água era, originalmente, um permutador de calor, casco e tubos, mas hoje é mais comum o uso do moderno permutador de calor a placas (para amónia, fabricado de aço inoxidável). Condensadores arrefecidos a água não são usados com muita frequência, porque em certos lugares é proibido a utilização de grandes quantidades de água que estes tipos de condensadores consomem.

Hoje em dia os condensadores arrefecidos a água são comuns nos sistemas compactos para arrefecimento (“chillers”), sendo a água arrefecida proveniente de uma torre reticulada. Ele também pode ser utilizado como um condensador de recuperação de calor para o fornecimento de água quente. O controlo da pressão de condensação pode ser obtido pelo vazo de água efectuado através da instalação de uma válvula automática controlada pela pressão ou por uma válvula motorizada controlada por um controlador electrónico.

Exemplo de Aplicação 3.3.1 - Controlo, com válvula de água, da vazão de água para condensadores resfriados a água

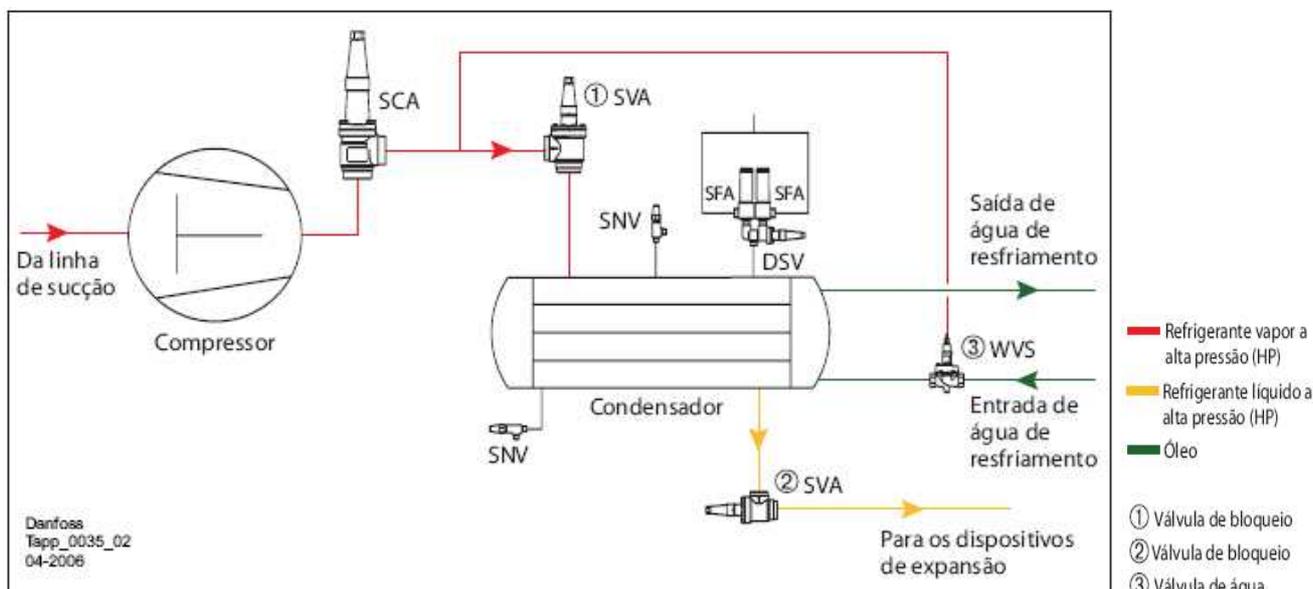
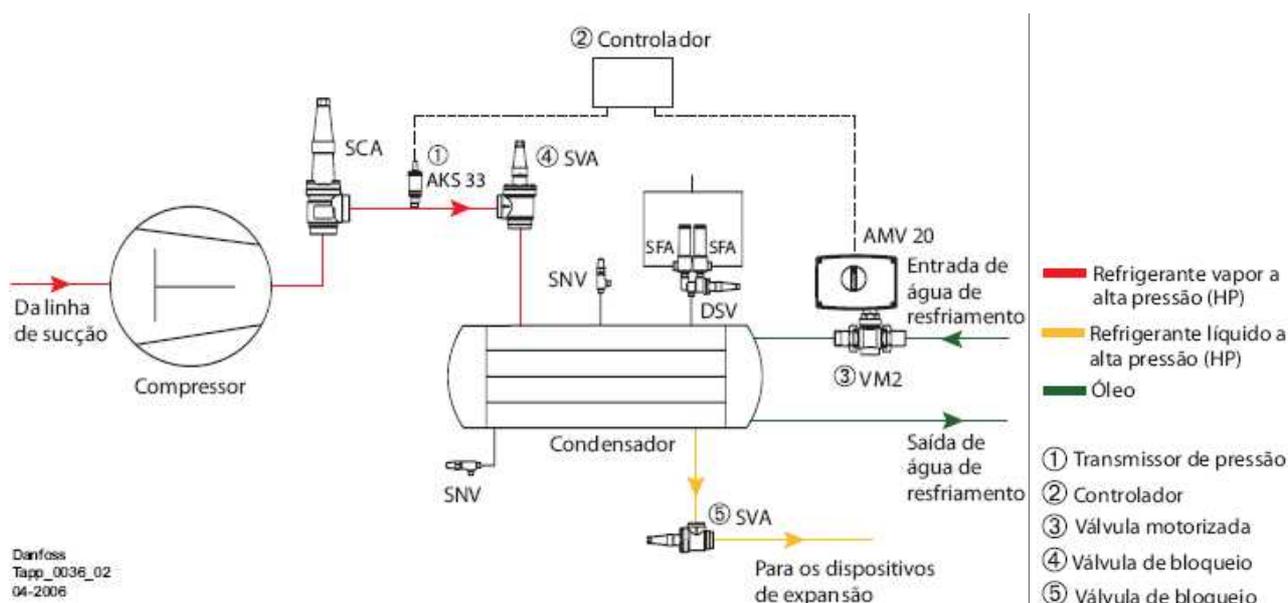


Figura 3.5 – Controlo da válvula motorizada, do vazo de água para condensadores arrefecidos a água

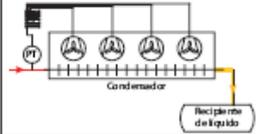
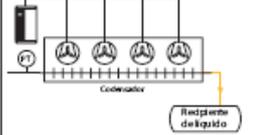
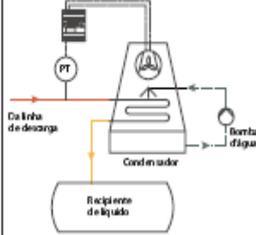
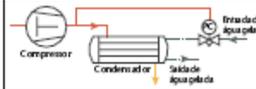
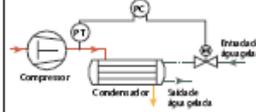
Esta solução mantém a pressão de condensação em um nível constante. A pressão de condensação do refrigerante é direccionada através de um tubo capilar para a parte superior da válvula de água WVS, e ajusta a abertura da WVS de forma correspondente. A válvula de água WVS é um regulador -P.

Exemplo de Aplicação 3.3.2: Controlo com válvula motorizada, da vazão de água para condensadores resfriados a água



O controlador 2 recebe o sinal de pressão de condensação do transmissor de pressão AKS 33 e envia um sinal de modulação correspondente para o actuador AMV 20 da válvula motorizada VM 2. Desta forma, o despejo de água de arrefecimento é ajustada e a pressão de condensação é mantida a um nível constante.

### 3.4 – Resumo

Solução		Aplicação	Benefícios	Limitações
<b>Controle de Condensador Refrigerado a Ar</b>				
Controle gradual dos ventiladores com o controlador por estágios EKC331		Utilizado principalmente para refrigeração industrial em climas quentes e em um grau bem inferior para climas frios.	Controle em estágios do volume de ar ou com o controle da variação de velocidade do ventilador; economia de energia; Sem utilização de água.	Temperatura ambiente bem baixa; O controle gradual do ventilador pode emitir ruído.
Controle de velocidade de ventiladores de condensadores resfriados a ar		Aplicável a todos os condensadores que trabalham em velocidades reduzidas	Baixa corrente de partida Economia de energia Baixo nível de ruído Vida mais longa para o condensador Instalação simples	Temperaturas ambiente muito baixas:
<b>Controle de Condensador Evaporativo</b>				
Controle gradual do condensador evaporativo com pressostato RT		Refrigeração industrial com grande requisito de capacidade.	Grande redução de consumo de água em comparação com os condensadores resfriados a água e relativamente de fácil controle de capacidade; Economia de energia.	Não aplicável em países com alta umidade relativa; em climas frios devem ser tomadas precauções especiais para que a água nos tubos seja drenada durante os períodos de inatividade da bomba de água.
Controle gradual do condensador evaporativo com controlador por estágios EKC 331		Refrigeração industrial com grande requisito de capacidade.	Grande redução de consumo de água em comparação com os condensadores resfriados a água e relativamente de fácil controle de capacidade; Possível de ser controlado remotamente. Economia de energia.	Não aplicável em países com alta umidade relativa; em climas frios devem ser tomadas precauções especiais para que a água nos tubos seja drenada durante os períodos de inatividade da bomba de água.
<b>Controle de Condensador Resfriados a Água</b>				
Controle da vazão de água com válvula de água		Chillers, condensadores / recuperadores de calor	Fácil de controlar a capacidade	Não aplicável quando a disponibilidade de água é um problema.
Controle da vazão de água com válvula motorizada		Chillers, condensadores / recuperadores de calor	Facil de controlar a capacidade do condensador e a recuperação de calor; Possibilidade de ser controlado remotamente.	Este tipo de instalação é mais cara que uma instalação normal; n Não aplicável quando a disponibilidade de água é um problema.