

# application note



## Aproximação científica aplicada à intuição

### onde

#### Teste em laboratório

- Carter Retail Equipment (UK)

#### Teste em campo

- Supermercado Eurospar Azzano X (ITA)

### o quê

#### Comparação entre válvulas proporcionais e PWM:

- Qualidade da regulação
- Economia energética

### por que

- Foi efetuada a comparação quantitativa e qualitativa das diferentes características de regulação dos dois órgãos de laminação, com comparações práticas no campo e em laboratório.

#### E<sup>2</sup>V e PWM:

comparação entre válvulas de expansão proporcionais e de impulsos

A válvula de expansão é utilizada no âmbito da refrigeração comercial para alimentar o evaporador de bancadas e câmaras frigoríficas.

A função do órgão de laminação é garantir o correto sobreaquecimento para a saída do evaporador.

Mesmo do ponto de vista intuitivo, a maior exatidão na regulação traz vantagens energéticas, qualidade de regulação e estabilidade e segurança em todo o circuito de refrigeração.

Dando espaço à intuição e com rigor científico, CAREL recolheu uma série de fatos e considerações úteis para entender os reais efeitos positivos de uma regulação proporcional em relação à regulação pulsante.

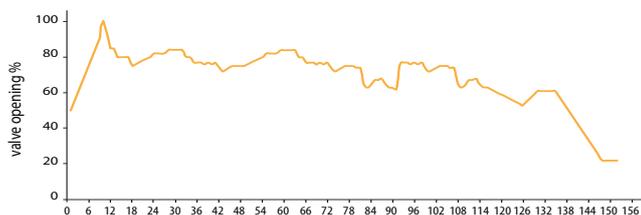
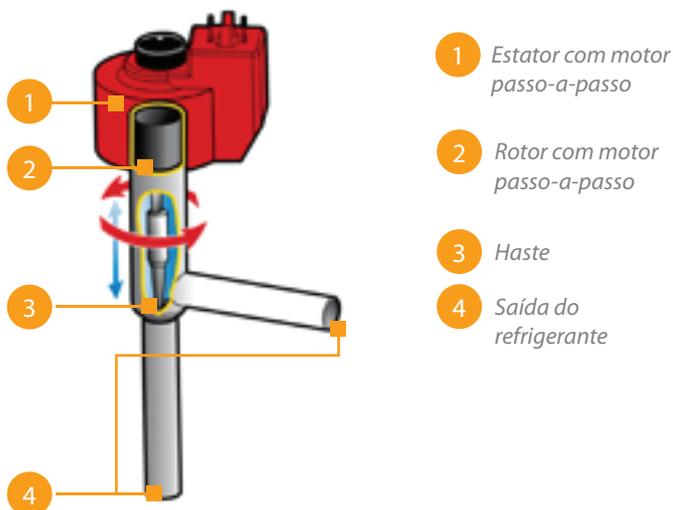
Este documento ilustra os êxitos identificados em nossos laboratórios, em sistemas reais, e com o aval de algumas provas conduzidas por terceiros até mesmo de forma independente.



## Válvula stepper E<sup>2</sup>V

### Modulação contínua de fluxo

- O driver da válvula eletrônica fornece ao estator um sinal de baixa tensão à válvula para girar o rotor em sentido horário ou anti-horário.
- O mecanismo interno converte o movimento giratório em deslocamento axial da haste.
- A posição da haste modifica a área de passagem do refrigerante;
- O fluxo de refrigerante é modulado com exatidão e continuidade.

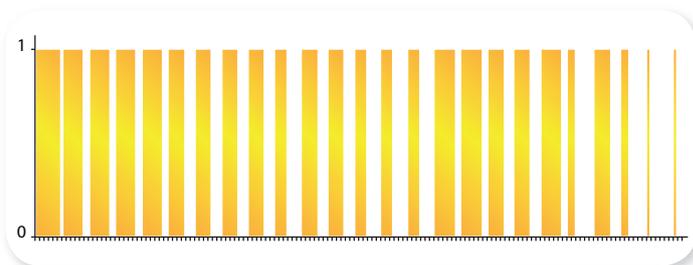
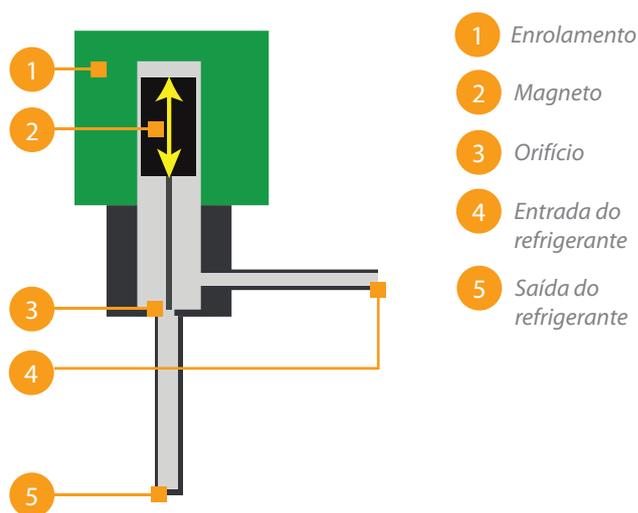


Esquema de princípio do funcionamento de uma válvula de expansão proporcional geral. A característica principal das válvulas proporcionais CAREL E2V é o movimento somente axial, e não giratório, da haste de regulação. A válvula passo-a-passo pode modular, de modo preciso e contínuo, o fluxo de refrigerante de acordo com cada movimento e com a quantidade necessária do sistema.

## Válvula PWM (Pulse Width Modulation)

### Modulação pulsante de fluxo

- O driver fornece ao enrolamento um comando de tensão e modula a duração dos impulsos (segundos).
- O magneto movimenta-se em função da excitação do enrolamento.
- O obturador conectado ao magneto abre ou fecha completamente a perfuração de passagem.
- A modulação de um "fluxo médio" é efetuada através da regulação da duração dos períodos de abertura e fechamento.



Esquema de princípio de funcionamento de uma válvula de expansão PWM geral. Uma válvula PWM pode obter somente uma variação do "fluxo médio" em uma janela temporal de vários segundos. O fluxo instantâneo pode ser somente 100% ou 0%.

### Vantagens da regulação proporcional



Controle do sobreaquecimento mais estável: É possível trabalhar com pontos de referência inferiores, obtendo também um rendimento melhor do evaporador. Isto implica em maior pressão de evaporação e, conseqüentemente, em economia na energia de compressão;



Maior campo de regulação: Uma EEV proporcional pode suprir melhor às trocas de pressão de condensação e evaporação e adaptar-se às variações de carga. O mesmo modelo de válvula pode funcionar em uma unidade com capacidade e refrigerante diversos, tornando menos crítico o processo de seleção e substituição;



Menores vibrações nas tubagens: A válvula PWM pode induzir vibrações nas tubagens e no próprio fluxo de refrigerante que podem causar rupturas ou mau funcionamento no sistema ou ainda, podem requerer a adoção de tubos de espessura e custos maiores inclusive para com fixações específicas;



Nenhum rumor no sistema: Diferentemente das válvulas PWM, não há rumor durante o normal funcionamento;



Baixas tensões de trabalho: São reduzidas as precauções necessárias para a manutenção e em caso de formação de gelo.

## Teste de laboratório

Carter Retail Equipment efetuou testes de laboratório para comparar uma válvula proporcional CAREL E2V18 com uma válvula de tipo PWM. Os testes foram efetuados utilizando uma bancada de parede de temperatura média modificada para permitir a laminação, alternadamente, nas duas válvulas: quando uma válvula for selecionada, o ramo no qual estiver instalada é excluído através de uma válvula solenoide. Neste modo, pode-se garantir a perfeita igualdade de condições para os testes.

O objetivo dos testes foi medir o coeficiente de extração com a mesma temperatura do produto. Isto equivale à medida do rendimento frigorífico necessário para obter o mesmo efeito no produto a ser mantido em baixa temperatura, ou ainda, equivale à quantidade necessária de refrigerante para obter o mesmo efeito frigorífico.

Os testes foram conduzidos com a bancada em funcionamento alternado com a válvula proporcional e a válvula PWM a cada 24 horas.

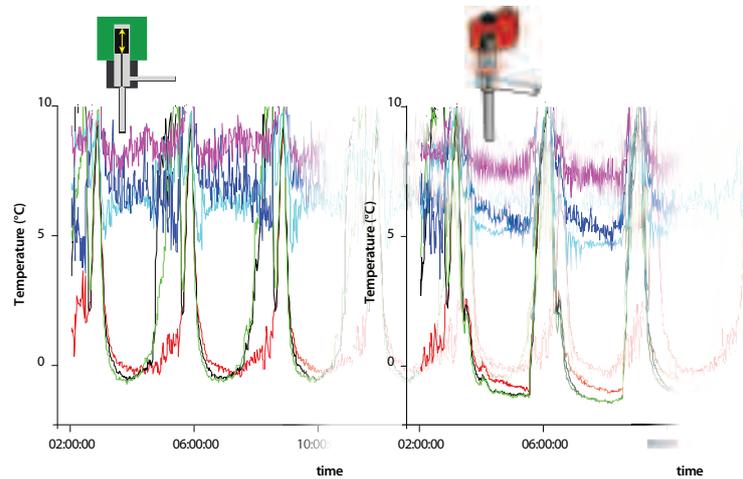
A medida da capacidade de refrigerante foi efetuada com um fluxímetro por efeito Coriolis.



A unidade frigorífica utilizada para os testes nos laboratórios CARTER Refrigeration

## Formação de gelo

Das anotações nota-se um comportamento diferente das temperaturas do ar que conduz à uma provável formação diferente de gelo na bateria. Durante o funcionamento da válvula proporcional, não foram identificadas derivações significativas, aumentos de temperatura regulada ou aumento do tempo para o descongelamento.

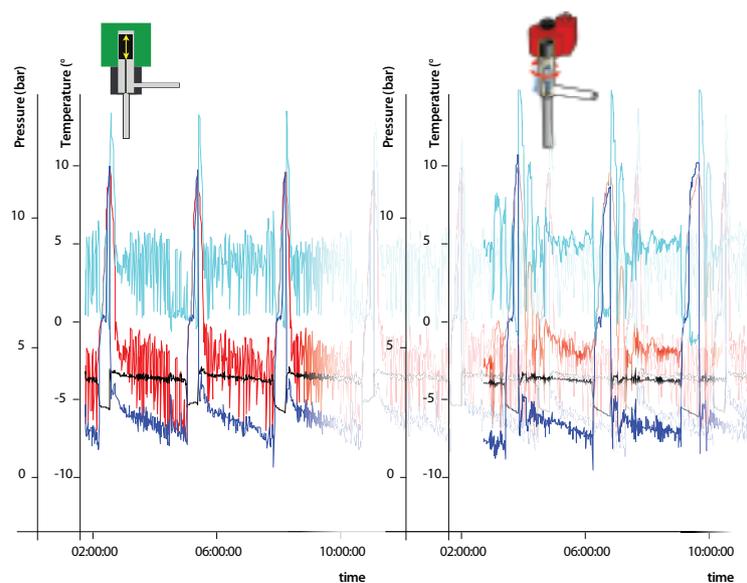


Red	Air off left	Black	Air off center	Green	Air off right
Cyan	Air on left	Blue	Air on center	Purple	Air on right

## Estabilidade no controle do sobreaquecimento

A válvula proporcional é capaz de manter um sobreaquecimento estável e sem amplas pendulações.

Isto deve-se ao fato que o fluxo do refrigerante é estável e leva à boa regulação da temperatura da bancada, com eficiência.

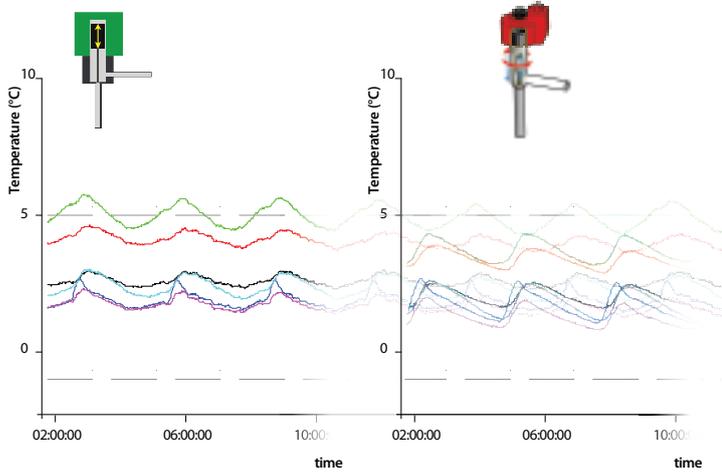


Red	suction temperature	Black	suction pressure
Cyan	superheat	Blue	evaporator temperature



## Temperatura de conservação dos produtos

Pode-se observar no gráfico que, com a regulação proporcional e as temperaturas médias dos produtos na bancada do frigorífico estão no campo ideal de regulação.



<span style="color: red;">■</span>	Air off left	<span style="color: black;">■</span>	Air off center	<span style="color: green;">■</span>	Air off right
<span style="color: cyan;">■</span>	Air on left	<span style="color: blue;">■</span>	Air on center	<span style="color: yellow;">■</span>	Air on right

## Análise dos resultados

Descrição	PWM	CAREL E2V-18
Máxima temperatura de produto	6,2 °C	6,4 °C
Relação de extração	2,59 kW	2,34 kW
Temperatura de evaporação	-6,6 °C	-6,7 °C
Consumos (100%= PWM)	100%	90%
<b>Economia com E<sup>2</sup>V</b>	<b>10%</b>	

Estes testes de laboratório ilustram uma eficiência maior das válvulas proporcionais em relação às válvulas PWM nas específicas condições ao circuito.

Além disso, oferecem interessantes pontos de reflexão qualitativa no tipo de controle, qualidade da regulação e da conservação dos gêneros alimentares.

## Teste em campo

Para avaliar o comportamento diferente da válvula proporcional CAREL E<sup>2</sup>V e de uma válvula PWM foi instalado um sistema de “tecnologia dupla” em um supermercado real.

O local de venda ASPIAG, situado em Azzano X (PN), possui uma superfície de 1500 m<sup>2</sup>, com potência instalada de 100 kW em temperatura média e 50 kW em baixa temperatura. Há 21 utilizações de média e 13 de baixa temperatura.

Foi possível conduzir o teste alternando, diariamente, a válvula de expansão utilizada, com mesmas condições externas e internas do local de venda.



*Instalação em paralelo das válvulas E2V e PWM*



*Todas as sondas duplicadas foram instaladas para medir o mesmo valor de temperatura/pressão*



*O quadro elétrico foi predisposto para permitir a troca de tecnologia entre PWM e E<sup>2</sup>V manualmente ou através do supervisor PlantVisorPRO.*

Com o objetivo de obter resultados perfeitamente comparáveis, foi duplicado o ramo no qual instalar a válvula de expansão. Duas válvulas de solenoide controláveis por PlantVisorPRO excluem, alternadamente, um dos dois ramos e permitem trocar, alternadamente, a tecnologia para a expansão. Em cada bancada foram instaladas sondas para cada um dos dois controles, em posições muito próximas, para evitar incongruências nas medidas. Encontram-se em cada bancada os seguintes pares de sondas:

- Temperatura de mandada do ar;
- Temperatura de retomada do ar;
- Temperatura de descongelamento;
- Pressão em aspiração;
- Temperatura da aspiração.

### Metodologia de testes

Os testes foram efetuados para obter dados comparáveis. Todos os parâmetros dos controladores das válvulas foram configurados coerentemente (ponto de referência, alarmes, descongelamentos) para garantir o funcionamento em condições análogas. Os parâmetros de regulação das centrais frigoríficas foram mantidos idênticos durante o funcionamento com as duas tecnologias. A troca de tecnologia foi efetuada em intervalos de 24 horas para garantir condições climáticas semelhantes. A amostragem de dados foi efetuada a cada cinco (5) minutos.

### Supermercado Eurospar (ASPIAG) de Azzano X

#### Características do sistema

- Superfície: 1500 m<sup>2</sup>
- Bancadas de temperatura média: 15
- Bancadas de temperatura baixa: 11
- Câmaras de temperatura média: 6
- Câmaras de temperatura baixa: 2

#### Central média de temperatura:

- 3 compressores, no total
- 1 compressor com inversor (35 – 100%)
- Potência total 100 kW
- Bateria condensante com 6 ventiladores com inversor

#### Central temperatura baixa:

- 3 compressores, no total
- 1 compressor com inversor (35 – 100%)
- Potência total 50 kW
- Permutador para sub-resfriamento
- Bateria condensante com 4 ventiladores com inversor

#### Controles CAREL

Centrais frigoríficas: pRack pR100  
bancadas/câmaras frigoríficas: MPXPRO step3  
válvulas de expansão: E<sup>2</sup>V  
supervisão: PlantVisorPRO Touch Hyper



## Metodologia de testes

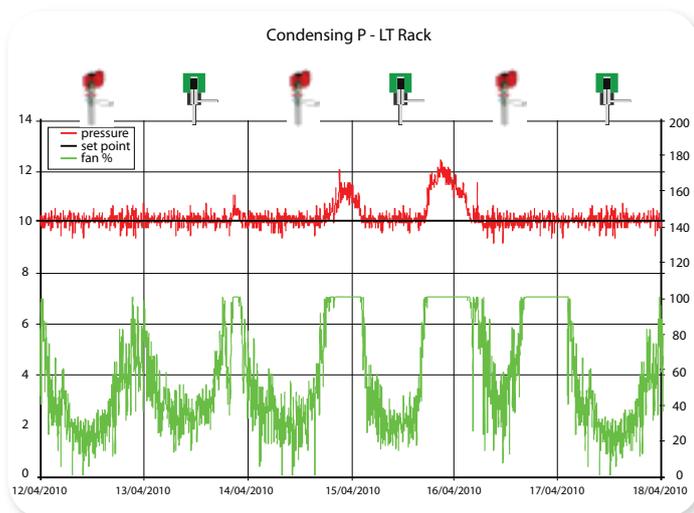
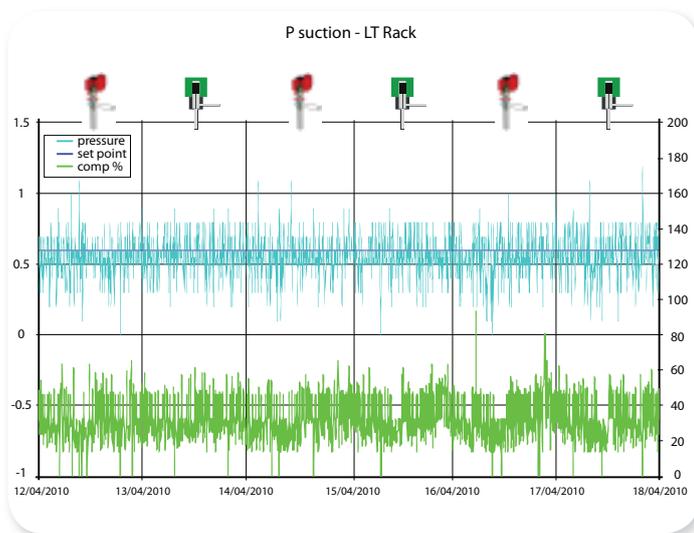
A duração total dos testes no supermercado de Azzano X é de dez (10) meses, alguns dos quais, dedicados à comparação entre válvulas  $E^2V$  e PWM.

Porém, os gráficos referem-se aos testes com duração de alguns dias, nos quais foram obtidas condições climáticas praticamente constantes.

## Condições de teste comparáveis

Pode-se observar no gráfico como as condições de pressão permanecem praticamente idênticas nos dias de funcionamento PWM e de funcionamento  $E^2V$ .

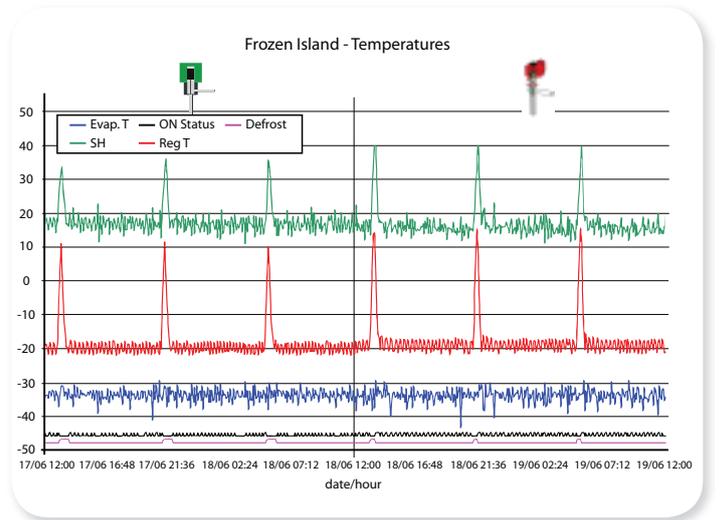
O andamento da potência dos compressores e dos ventiladores é também estável durante os outros dias.



## Parâmetros

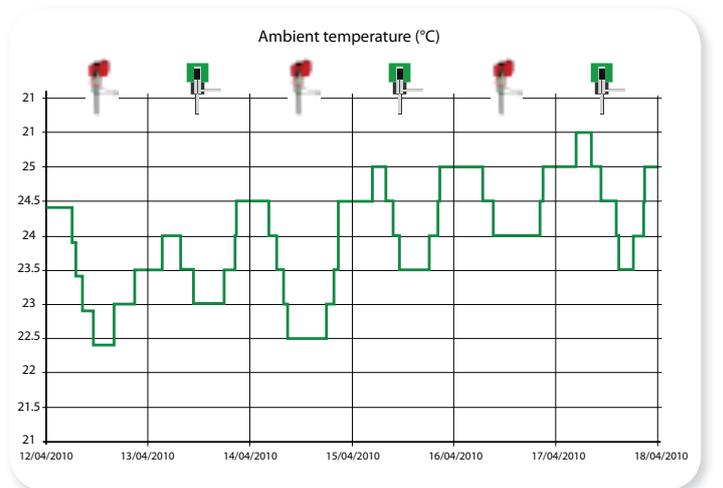
O gráfico ilustra a evidência de como os pontos de referência relativos ao ar de mandada da bancada e para o sobreaquecimento foram mantidos idênticos no controlador da válvula  $E^2V$  e da PWM.

É também possível observar que os tempos de descongelamento não variam com as duas tecnologias.



## Temperatura ambiente

No respectivo intervalo de tempo, pode-se observar que a temperatura média permaneceu quase constante.



### Resultados dos testes

Para obter dados comparáveis, foi considerado somente o período de tempo no qual a temperatura externa era suficientemente estável. Foram eliminados também os dados relativos aos períodos no qual foram realizados testes diferentes (ref. História de sucesso de Azzano X).

A análise de dados mostra a confirmação geral dos resultados obtidos por Carter Refrigeration em laboratório.

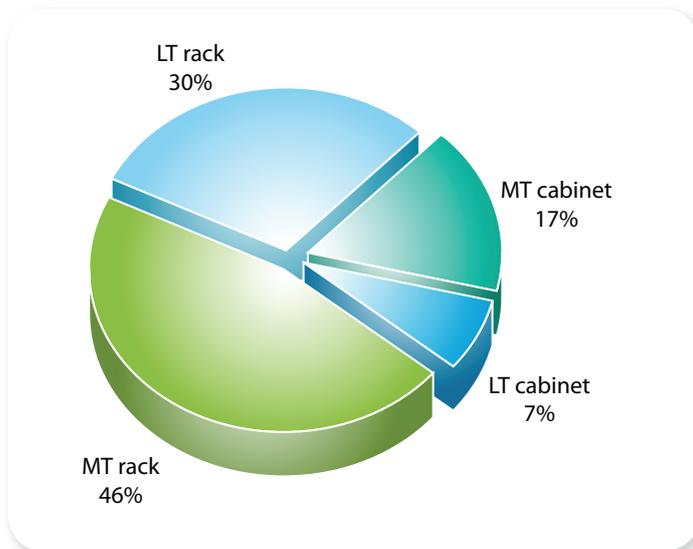
A regulagem precisa e contínua da capacidade nos evaporadores reduz as ineficiências e permite utilizar menos refrigerante com o mesmo efeito frigorífico.

A precisão e a continuidade no controle do fluxo levam à utilização eficiente do refrigerante, com economia energética de 5% no sistema analisado.

Como pode ser facilmente observado pelo gráfico circular, isto repercute-se diretamente no consumo elétrico das centrais frigoríficas.

Absorção total do sistema/ Horas de funcionamento		Economia energética
E <sup>2</sup> V	PWM	
33,5 kW	35,1 kW	-4,5%

### 4,5% economia de energia distribuição



## Conclusões

Dos testes efetuados em laboratório (Carter Refrigeration) e no campo (Interspar, Azzano X) conclui-se que a utilização de uma válvula proporcional é geralmente preferível do que uma válvula PWM, inclusive na refrigeração comercial.

Além das vantagens ligadas à regulação, ao menor rumor e à melhor qualidade do controle do sobreaquecimento, tem-se a vantagem da economia energética, que foi quantificada nos testes aqui analisados.

A válvula PWM não é capaz de garantir, em todos os momentos, o fluxo de refrigerante necessário para a utilização para manter o correto valor de sobreaquecimento; isto pode ser devido à origem da regulação, que é impulsiva.

Este dado pode ser traduzido em um maior extraction factor, ou seja, maior utilização de refrigerante para a geração do efeito frigorífico. A válvula E<sup>2</sup>V, ao contrário, pode regular minuto por minuto a capacidade de refrigerante em modo continuado.



## Soluções CAREL retail, sistema para a regulação proporcional de sobreaquecimento

A tecnologia de expansão proporcional CAREL pode ser utilizada com a nossa nova geração de controles e válvulas, que é o resultado de anos de aprimoramento, inclusive na utilização.

### MPXPRO STEP3 com tecnologia Ultracap

Modulação contínua agora também na refrigeração comercial, sem a necessidade de válvulas solenoides e alimentação externa.



### EVD EVO

A potencialidade da regulação modulante mesmo em soluções independentes.



### E<sup>2</sup>V SMART

A nova geração de válvulas proporcionais E<sup>2</sup>V até 40 kW, inspecionáveis para facilitar ainda mais a instalação e a manutenção, agora possui indicador luminoso de fluxo e filtro mecânico interno.



### EXV sistema simulador

Para a demonstração prática das diferenças na regulação. Disponível nos nossos stands nas principais feiras ou na filial CAREL mais próxima. O simulador é um simples circuito frigorífico dotado de permutador transparente e equipado com três diferentes válvulas de expansão: E<sup>2</sup>V, PWM e termostática mecânica. É possível "tocar com a mão", observando no monitor, ou diretamente nos permutadores transparentes, os diferentes resultados da ação das válvulas com o efeito de sobreaquecimento e o funcionamento da máquina.



#### Headquarters ITALY

CAREL INDUSTRIES HQs  
Via dell'Industria, 11  
35020 Brugine - Padova (Italy)  
Tel. (+39) 0499 716611  
Fax (+39) 0499 716600  
carel@carel.com

#### Sales organization

CAREL Asia - [www.carel.com](http://www.carel.com)  
CAREL Australia - [www.carel.com.au](http://www.carel.com.au)  
CAREL China - [www.carel-china.com](http://www.carel-china.com)  
CAREL Deutschland - [www.carel.de](http://www.carel.de)  
CAREL France - [www.carelfrence.fr](http://www.carelfrence.fr)  
CAREL Iberica - [www.carel.es](http://www.carel.es)  
CAREL India - [www.carel.in](http://www.carel.in)

#### Affiliates

CAREL HVAC/R Korea - [www.carel.com](http://www.carel.com)  
CAREL Russia - [www.carelrussia.com](http://www.carelrussia.com)  
CAREL South Africa - [www.carelcontrols.co.za](http://www.carelcontrols.co.za)  
CAREL Sud America - [www.carel.com.br](http://www.carel.com.br)  
CAREL U.K. - [www.careluk.co.uk](http://www.careluk.co.uk)  
CAREL U.S.A. - [www.carelusa.com](http://www.carelusa.com)

CAREL Czech & Slovakia - [www.carel-cz.cz](http://www.carel-cz.cz)  
CAREL Korea (for retail market) - [www.carel.co.kr](http://www.carel.co.kr)  
CAREL Ireland - [www.carel.com](http://www.carel.com)  
CAREL Thailand - [www.carel.co.th](http://www.carel.co.th)  
CAREL Turkey - [www.carel.com.tr](http://www.carel.com.tr)