

# SISTEMAS DE ÁGUA GELADA



PROGRAMA  
BRASILEIRO DE  
ELIMINAÇÃO DOS

**HCFCs**  
Projeto para o Gerenciamento de Chillers

## Projeto Demonstrativo para o Gerenciamento Integrado no Setor de Chillers

# SÍNDROME DE BAIXO T EM SISTEMAS DE ÁGUA GELADA

Mauricio de Barros – CONSULTAR Engenharia  
25/02/2016 - Rio de Janeiro

Execução



Implementação



Empoderando vidas.  
Fortalecendo nações.

Realização

Ministério do  
Meio Ambiente



# SÍNDROME - SIGNIFICADO



## SÍNDROME:

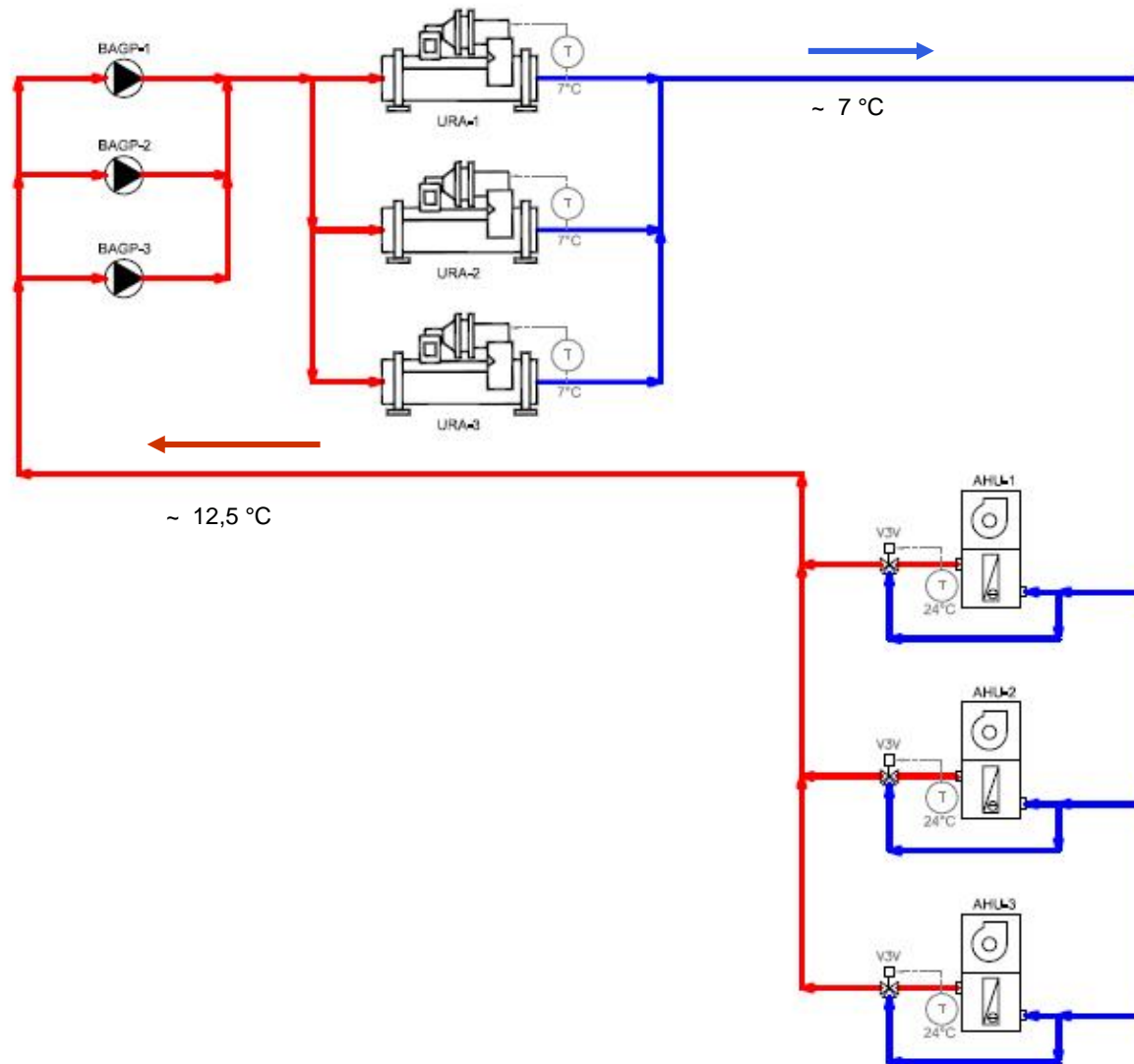
**Síndrome** (do grego "*syndromé*", cujo significado é "reunião") é um termo bastante utilizado em **Medicina e Psicologia** para caracterizar o **conjunto de sinais e sintomas** que definem uma determinada patologia ou condição.

A medicina indica que uma síndrome não deve ser classificada como uma doença, indicando que no caso de uma síndrome, **os fatores** que causam sinais ou sintomas **nem sempre são conhecidos**, o que acontece (quase sempre) no caso de uma doença.

# CONFIGURAÇÕES DO CIRCUITO DE ÁGUA GELADA



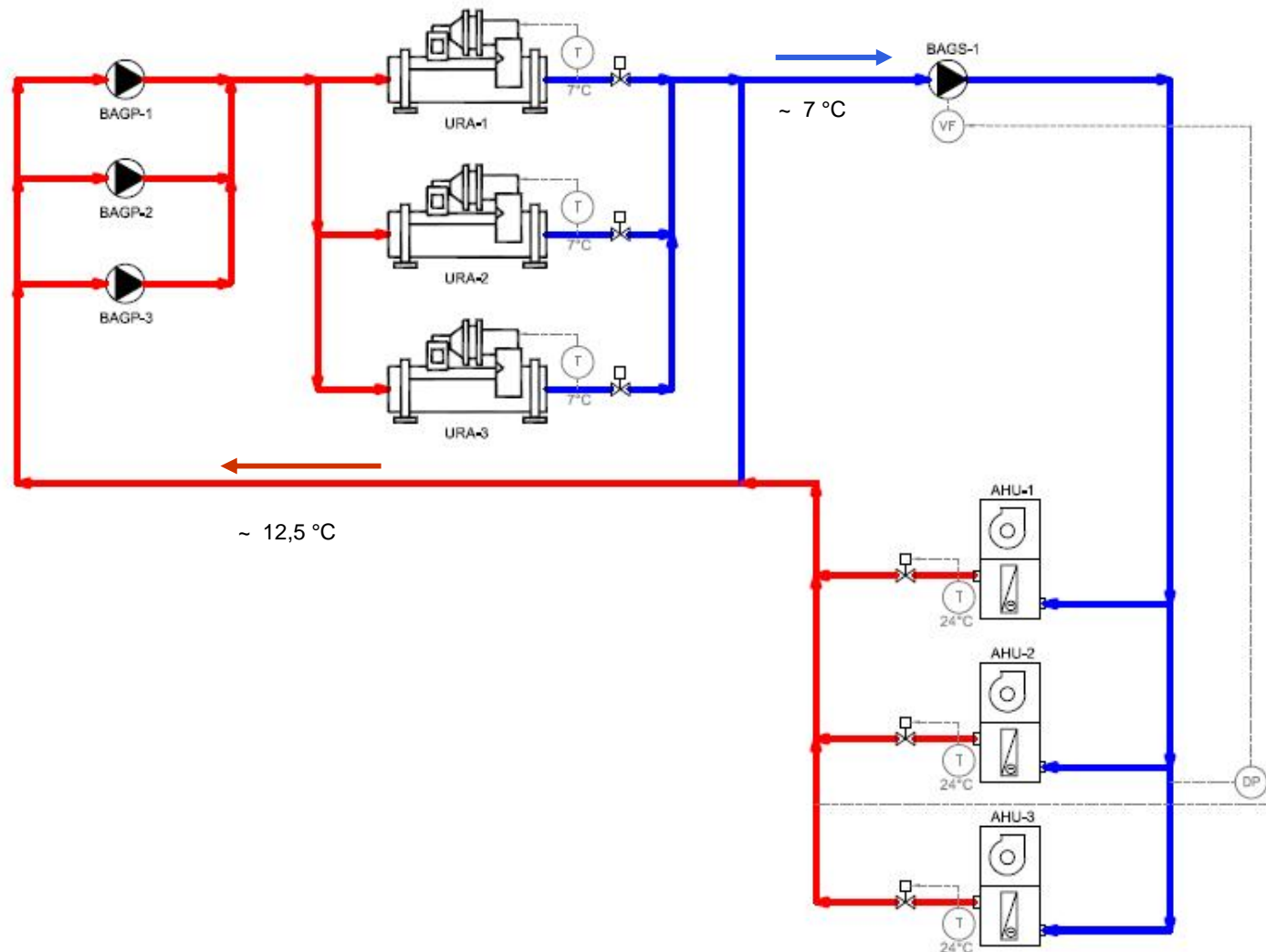
VAZÃO DE ÁGUA CONSTANTE:



# CONFIGURAÇÕES DO CIRCUITO DE ÁGUA GELADA



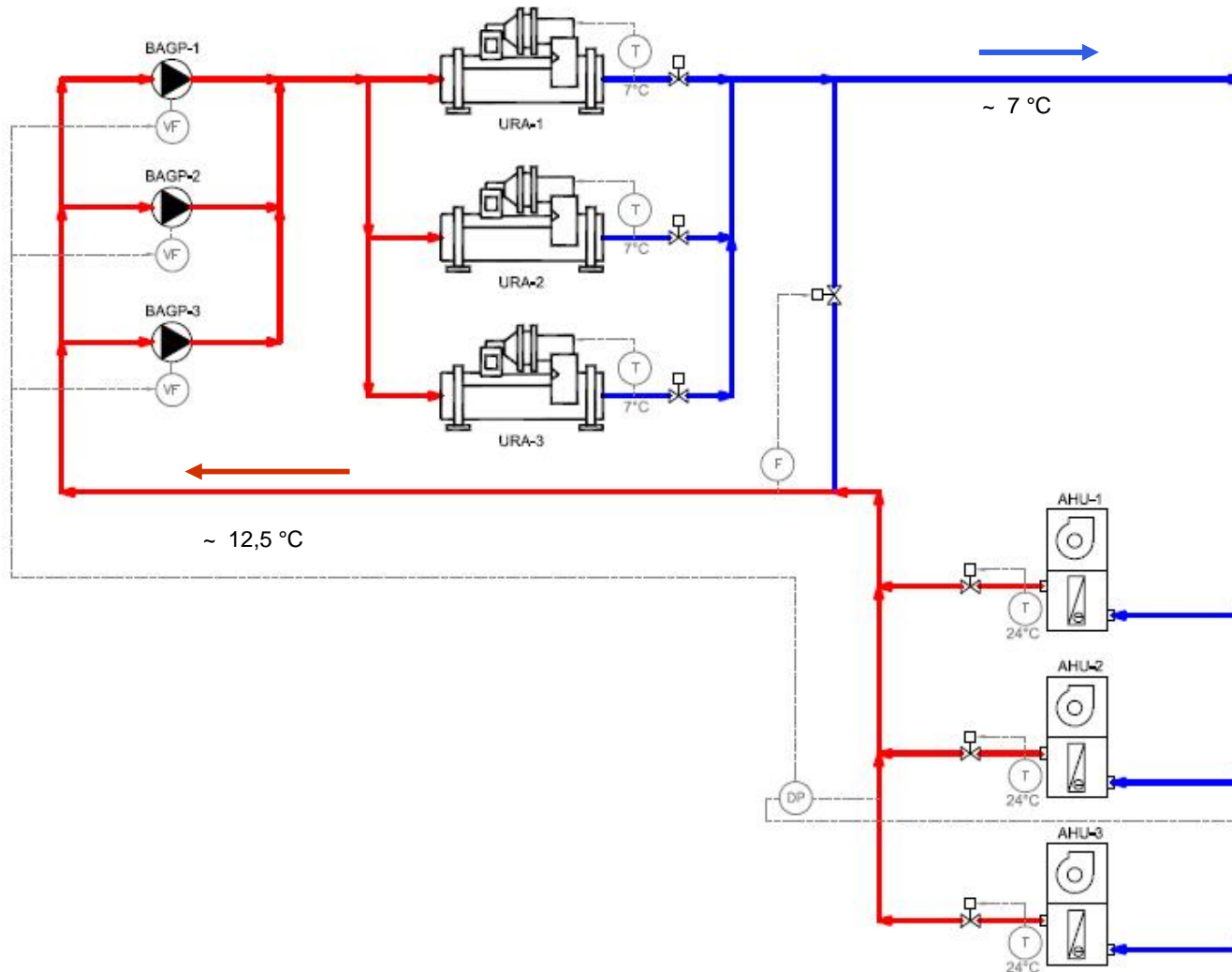
## VAZÃO DE ÁGUA VARIÁVEL – BOMBEAMENTO PRIMÁRIO/SECUNDÁRIO



# CONFIGURAÇÕES DO CIRCUITO DE ÁGUA GELADA



## VAZÃO DE ÁGUA VARIÁVEL NO CHILLER (PRIMÁRIO VARIÁVEL)



# O DIFERENCIAL DE TEMPERATURA ( $\Delta T$ ) NO SISTEMA DE ÁGUA GELADA



**EQUAÇÃO – CALOR SENSÍVEL:**

$$q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

onde:  $q$  = capacidade térmica

$m$  = vazão do fluido

$c$  = calor específico do fluido

$\Delta T$  = diferença de temperatura alimentação / retorno

$$(kcal/h) = (m^3/h) \cdot 1000 \cdot (^\circ C - ^\circ C)$$

$$(BTU/h) = (GPM) \cdot 500 \cdot (^\circ F - ^\circ F)$$

# O DIFERENCIAL DE TEMPERATURA ( $\Delta T$ ) NO SISTEMA DE ÁGUA GELADA



**VALORES USUAIS DE TEMPERATURA (*Rules of Thumb*):**

$$T = 10 \text{ }^\circ\text{F} \text{ (55 - 45)}$$

$$T = 5,5 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (12,5 - 7,0)}$$

Cálculo da vazão de água por TR:

$$q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

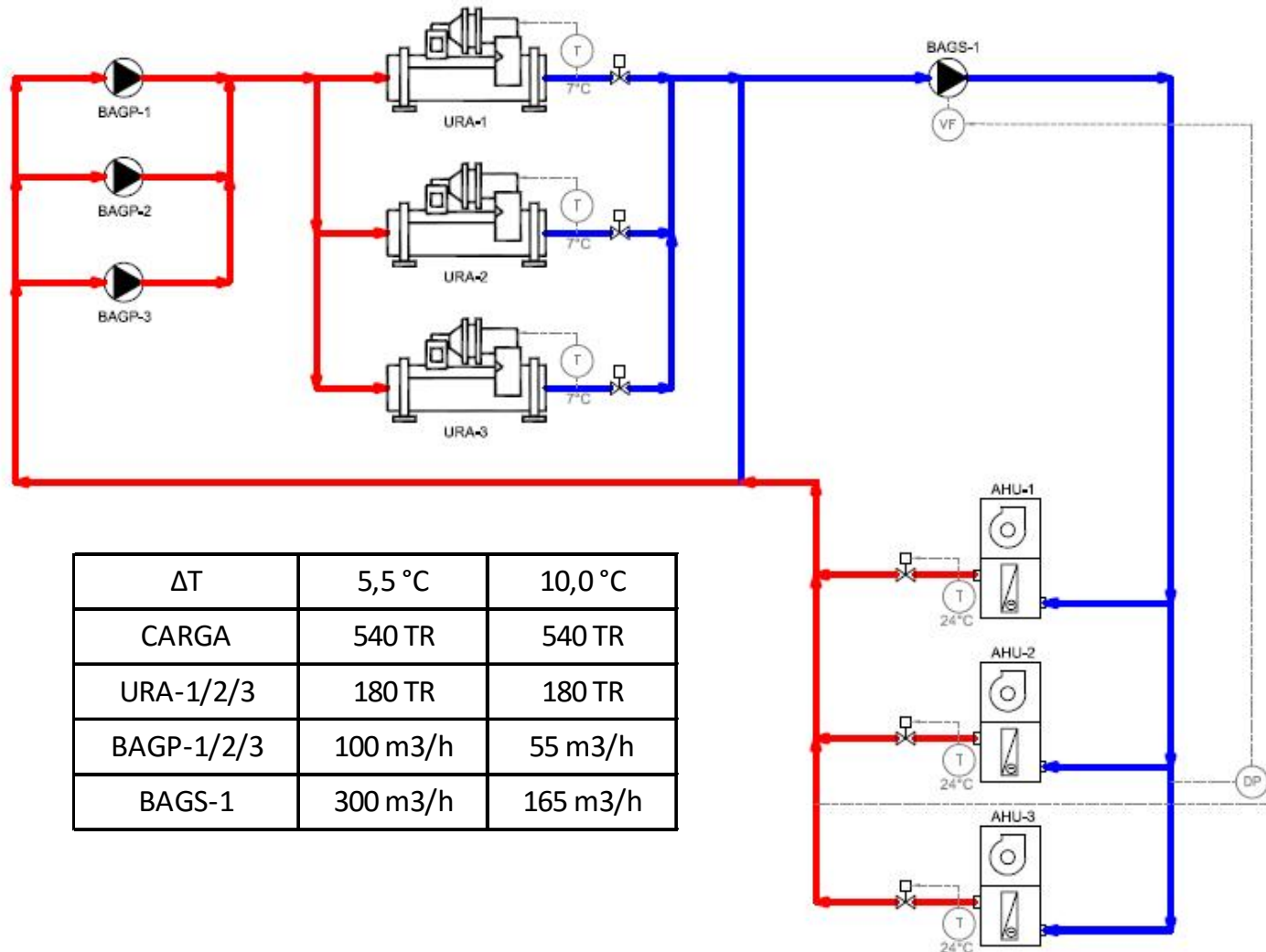
$$1 \text{ TR} = 3.024 \text{ (kcal/h)} = (m^3/h) \cdot 1000 \cdot (12,5^\circ\text{C} - 7^\circ\text{C})$$

$$\text{vazão} = 3.024 / 5.500 = 0,55 \text{ m}^3/\text{h/TR}$$

# O DIFERENCIAL DE TEMPERATURA ( $\Delta T$ ) NO SISTEMA DE ÁGUA GELADA



## EXEMPLO NUMÉRICO – CAG PRIMÁRIO / SECUNDÁRIO:





# A ESCOLHA DO DIFERENCIAL DE TEMPERATURA - $\Delta T$



## IMPACTO DO $\Delta T$ NOS CUSTOS INICIAIS E DE ENERGIA:

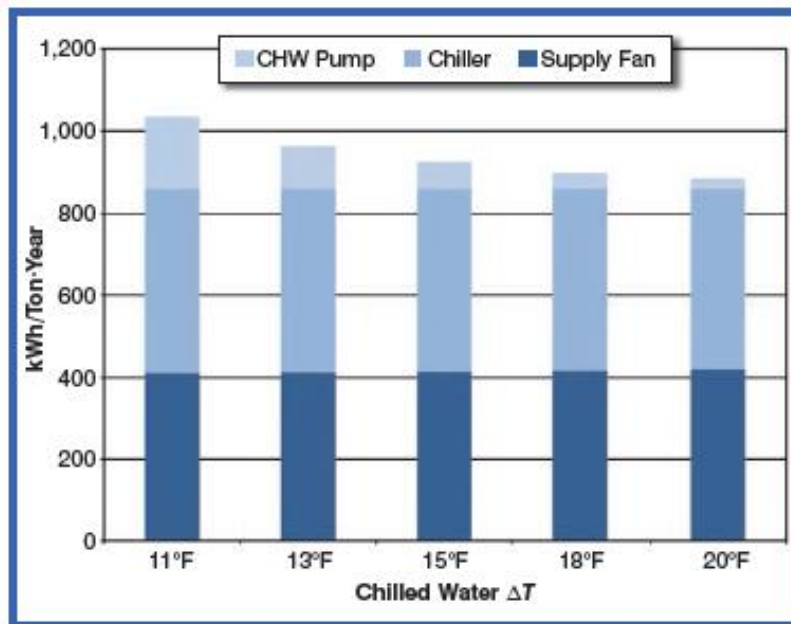
Item	$\Delta T$ Baixo	$\Delta T$ Elevado
Valores típicos de $\Delta T$	A partir de $\Delta T = 4,5 \text{ }^\circ\text{C}$	Até $\Delta T = 11 \text{ }^\circ\text{C}$
Custo Inicial	Serpentinas menores	Tubulações menores Bombas menores
Consumo de energia	Menor consumo de ventiladores	Menor consumo de bombas

# A ESCOLHA DO DIFERENCIAL DE TEMPERATURA - T

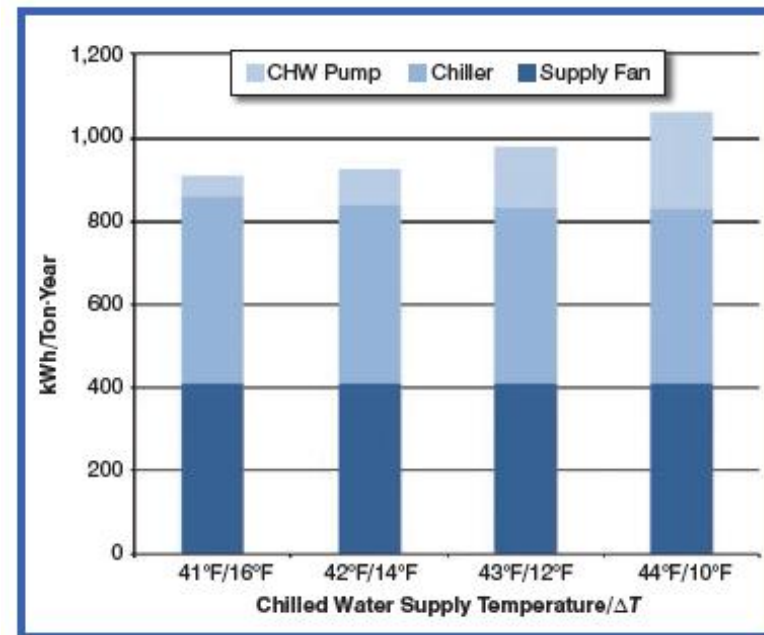


ASHRAE Journal:

*Optimizing Design and Control of Chilled Water Plants – Part 3: Pipe Sizing and Optimizing T - Taylor, Steven T. – December 2011*



**Figure 1:** Typical annual energy use vs. chilled water  $\Delta T$  with a constant chilled water supply temperature and constant pipe sizes.



**Figure 2:** Typical annual energy use with coils selected for constant airside pressure drop.

# A ESCOLHA DO DIFERENCIAL DE TEMPERATURA - $\Delta T$



## APLICAÇÕES QUE MAIS SE BENEFICIAM DE $\Delta T$ ELEVADO:

- Instalações com linhas de água gelada longas
- Configuração de Chiller em série
- Termoacumulação de água gelada
- *District Cooling*

## LIMITAÇÕES PARA USO DE $\Delta T$ ELEVADO:

- Instalações com quantidade significativa de Fancoletes (Hotéis, Hospitais, pequenas salas comerciais)
- Características originais de instalações existentes (serpentinhas e válvulas de controle dimensionadas para  $\Delta T$  mais baixo)

# PRINCIPAIS CAUSAS DA SÍNDROME DO BAIXO $\Delta T$



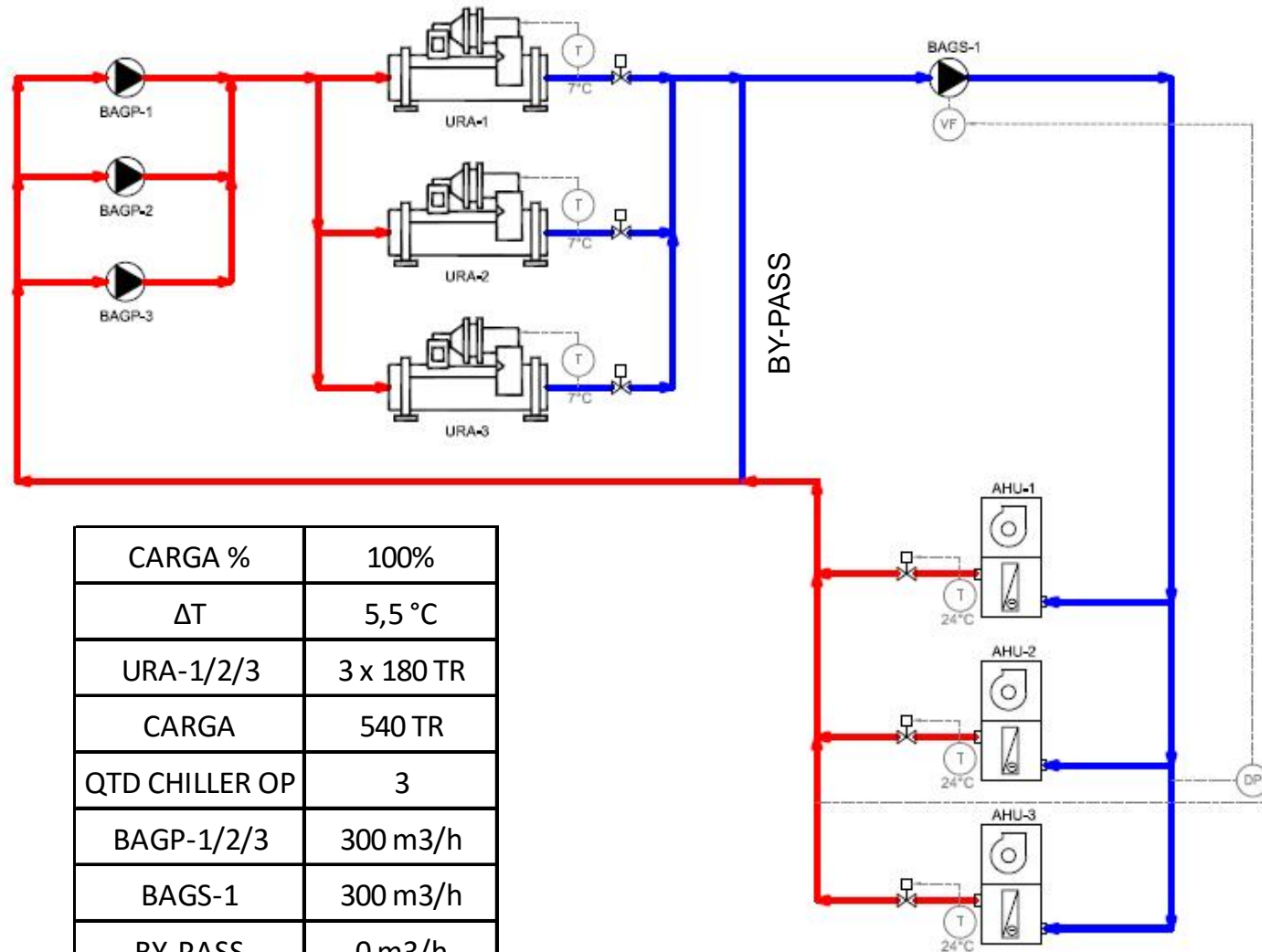
## CAUSAS COMUNS:

- Setpoint baixo, fora das condições de projeto
- Válvulas de controle inoperantes
- Falta de calibração de sensores
- Falta de intertravamento da válvula com o condicionador de ar
- Vazamento em válvula de controle fechada (close-off)
- Filtro de ar sujo
- Incrustação na serpentina (água ou ar)
- Falta de balanceamento ou re-balanceamento
- Serpentinas mal selecionadas
- Válvulas de controle mal selecionadas
- Ligação hidráulica invertida do condicionador de ar
- Substituição de condicionadores de ar e válvulas de controle sem respeitar o  $\Delta T$  de projeto original
- Temperatura de alimentação de água gelada elevada (setpoint errado, deficiência no chiller, mistura de água quente pelo bypass)
- Cargas de processo sem controle (indústria)

# IMPACTOS NA OPERAÇÃO DA CENTRAL DE ÁGUA GELADA



## OPERAÇÃO DA CAG COM $\Delta T$ DE PROJETO

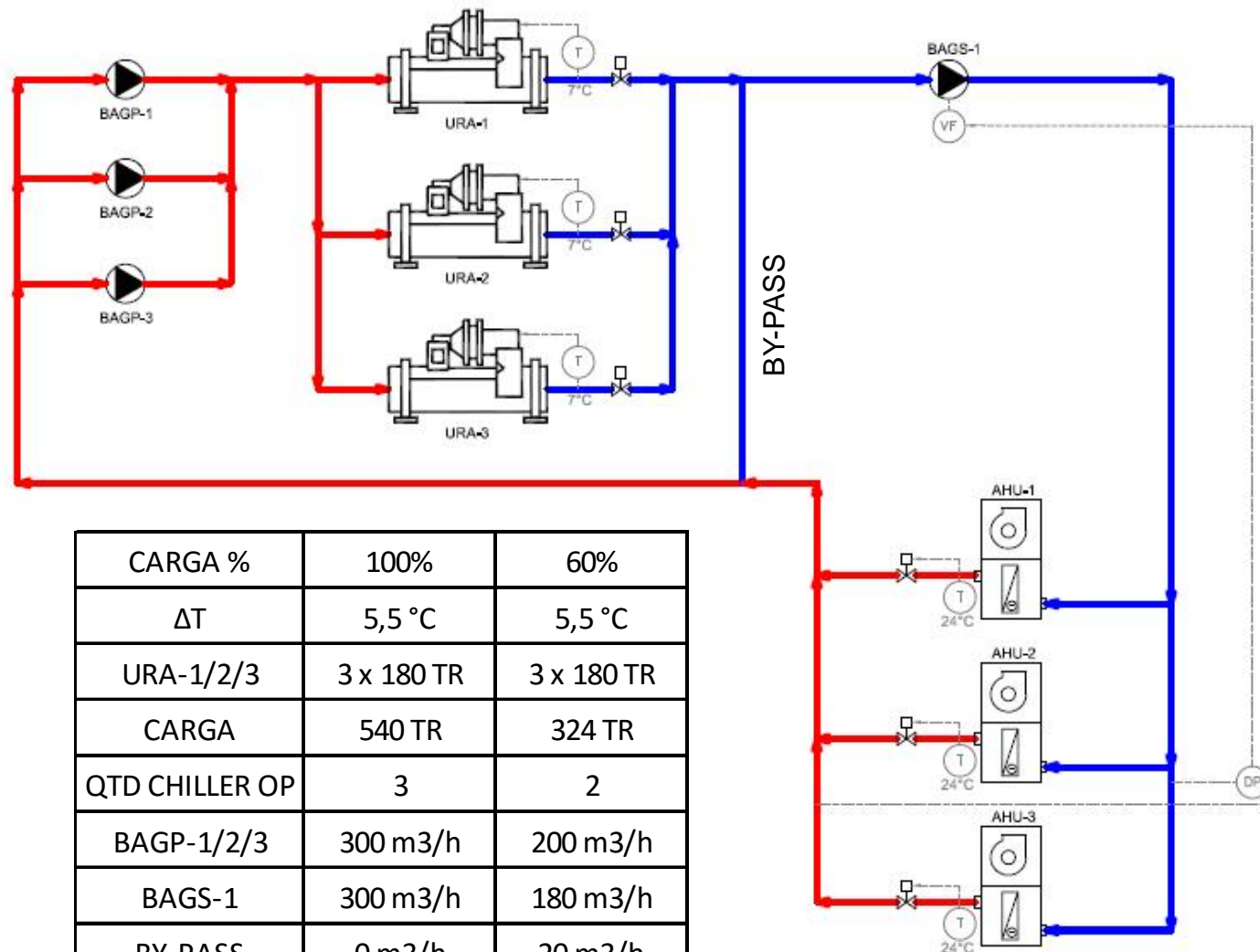


CARGA %	100%
$\Delta T$	5,5 °C
URA-1/2/3	3 x 180 TR
CARGA	540 TR
QTD CHILLER OP	3
BAGP-1/2/3	300 m <sup>3</sup> /h
BAGS-1	300 m <sup>3</sup> /h
BY-PASS	0 m <sup>3</sup> /h
TEMP AGUA	7,0 °C

# IMPACTOS NA OPERAÇÃO DA CENTRAL DE ÁGUA GELADA



## OPERAÇÃO DA CAG COM T DE PROJETO

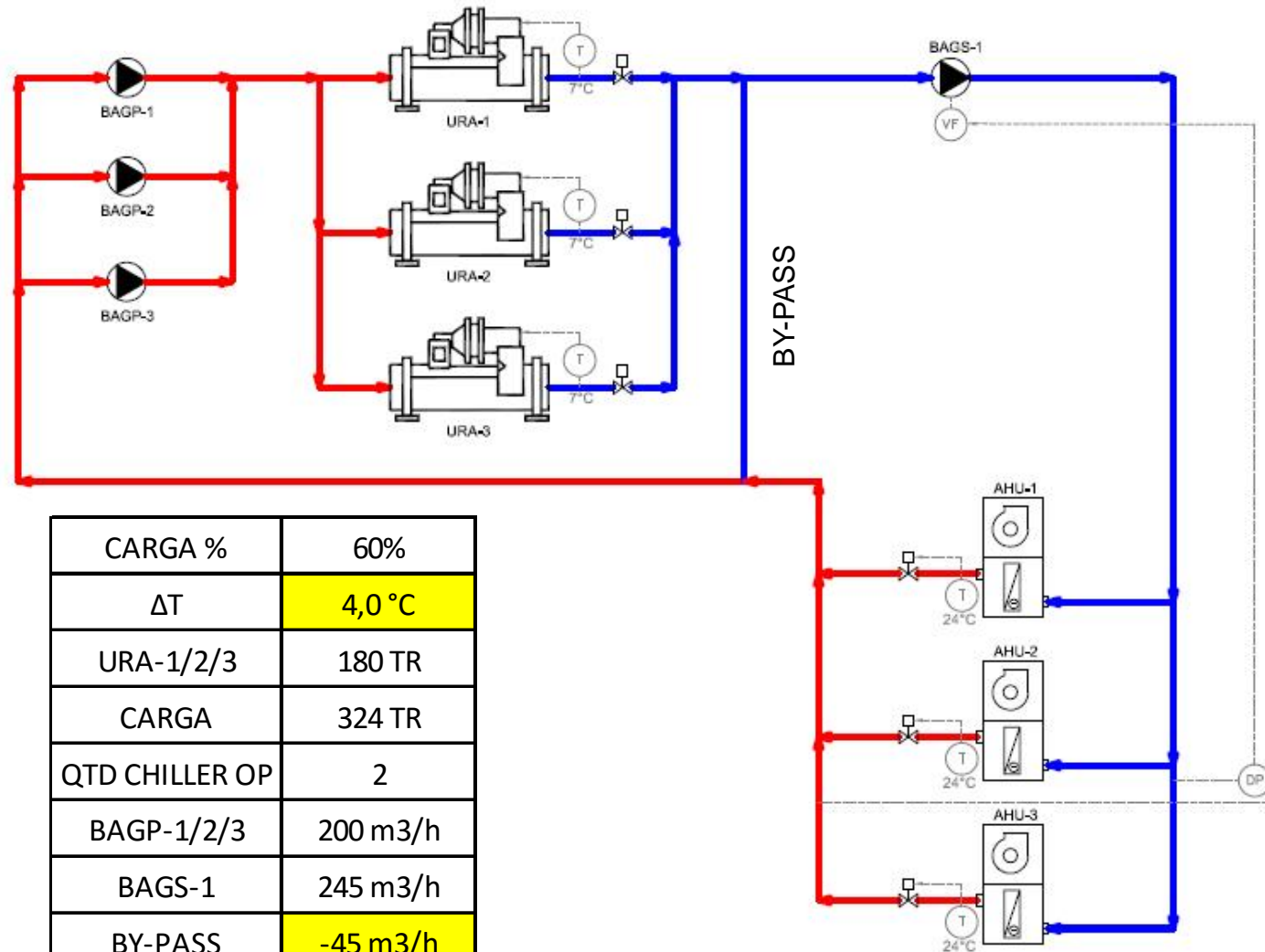


CARGA %	100%	60%
$\Delta T$	5,5 °C	5,5 °C
URA-1/2/3	3 x 180 TR	3 x 180 TR
CARGA	540 TR	324 TR
QTD CHILLER OP	3	2
BAGP-1/2/3	300 m <sup>3</sup> /h	200 m <sup>3</sup> /h
BAGS-1	300 m <sup>3</sup> /h	180 m <sup>3</sup> /h
BY-PASS	0 m <sup>3</sup> /h	20 m <sup>3</sup> /h
TEMP AGUA	7,0 °C	7,0 °C

# IMPACTOS NA OPERAÇÃO DA CENTRAL DE ÁGUA GELADA



## OPERAÇÃO DA CAG COM BAIXO T

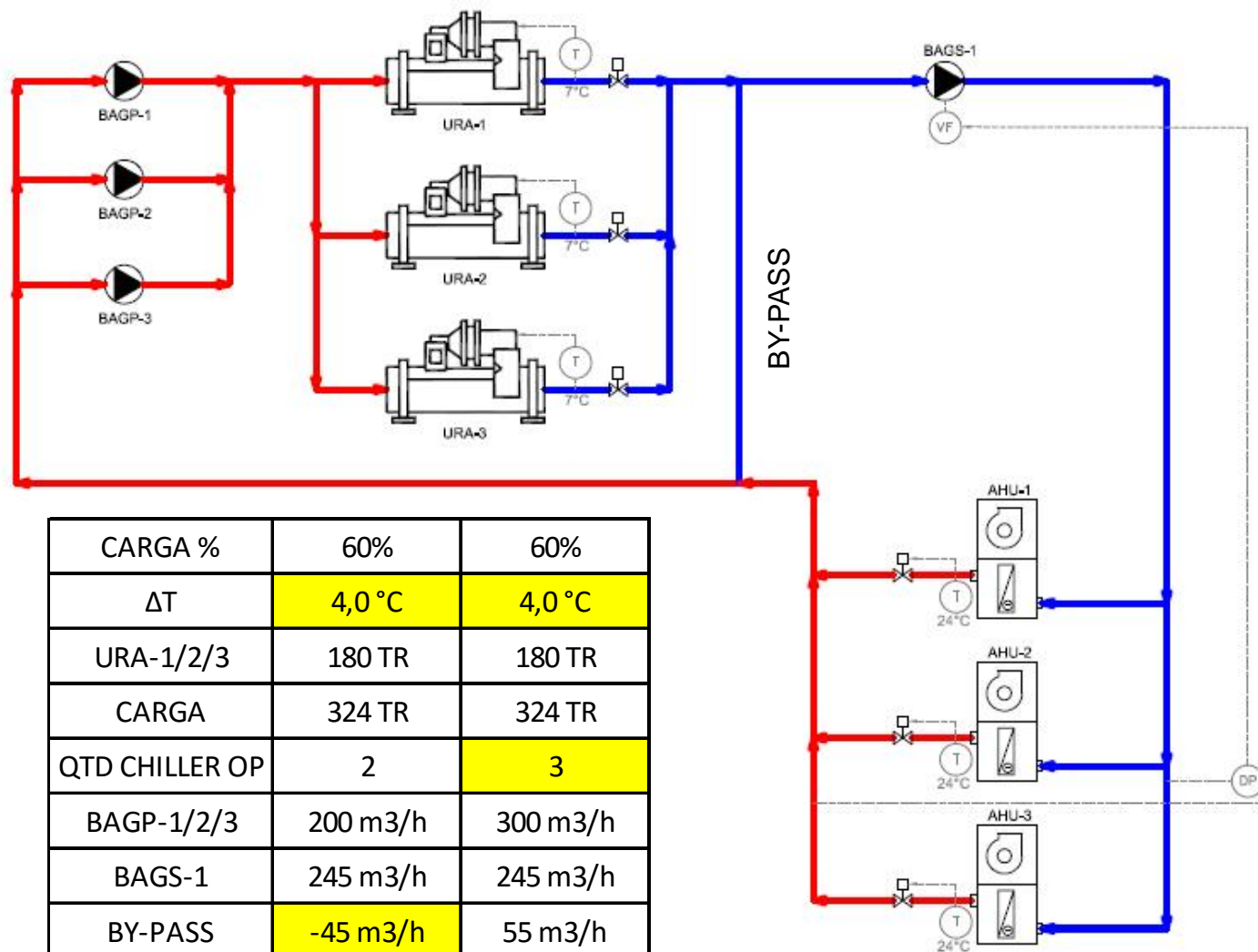


CARGA %	60%
$\Delta T$	4,0 °C
URA-1/2/3	180 TR
CARGA	324 TR
QTD CHILLER OP	2
BAGP-1/2/3	200 m <sup>3</sup> /h
BAGS-1	245 m <sup>3</sup> /h
BY-PASS	-45 m <sup>3</sup> /h
TEMP AGUA	7,7 °C

# IMPACTOS NA OPERAÇÃO DA CENTRAL DE ÁGUA GELADA



## OPERAÇÃO DA CAG COM BAIXO T



CARGA %	60%	60%
$\Delta T$	4,0 °C	4,0 °C
URA-1/2/3	180 TR	180 TR
CARGA	324 TR	324 TR
QTD CHILLER OP	2	3
BAGP-1/2/3	200 m <sup>3</sup> /h	300 m <sup>3</sup> /h
BAGS-1	245 m <sup>3</sup> /h	245 m <sup>3</sup> /h
BY-PASS	-45 m <sup>3</sup> /h	55 m <sup>3</sup> /h
TEMP AGUA	7,7 °C	7,0 °C



# IMPACTOS NA OPERAÇÃO DA CENTRAL DE ÁGUA GELADA



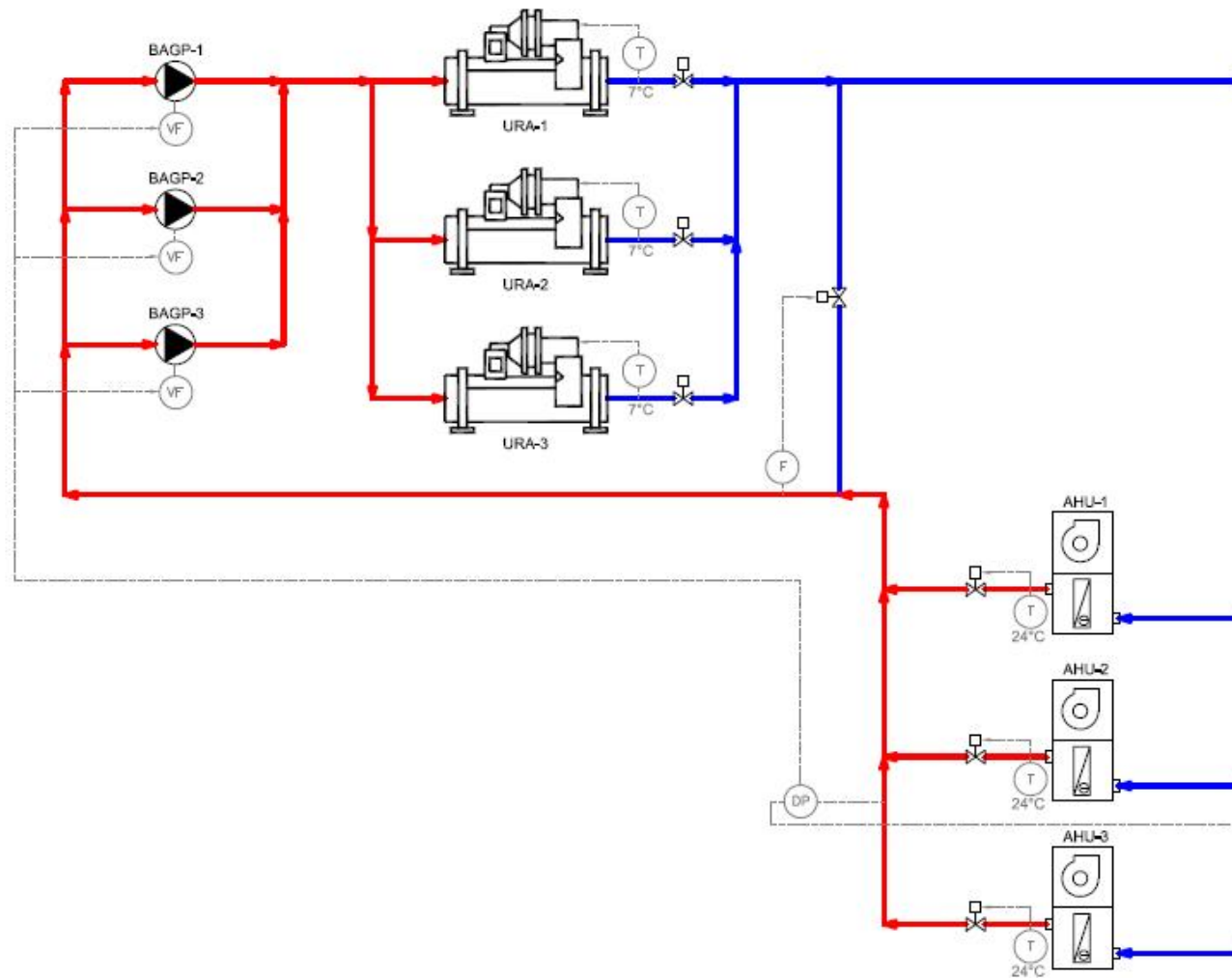
## OPERAÇÃO DA CAG COM BAIXO T:

- Maior consumo da BAGS em função da maior vazão de água gelada
- Maior número de chillers em operação para evitar fluxo invertido no by-pass e a mistura da água mais quente do retorno pelo excesso de vazão da bomba secundária
- Maior consumo de bombas primárias (BAGP), bombas de condensação (BAC) e torres de resfriamento (TRA) em função do maior número de chillers operando

# IMPACTOS NA OPERAÇÃO DA CENTRAL DE ÁGUA GELADA



## OPERAÇÃO DA CAG COM BAIXO T E PRIMÁRIO VARIÁVEL:



CARGA %	60%
$\Delta T$	4,0 °C
URA-1/2/3	3 x 180 TR
CARGA	324 TR
QTD CHILLER OP	2
BAGP-1/2/3	245 m <sup>3</sup> /h
$\Sigma$ AHU	245 m <sup>3</sup> /h
BY-PASS	0 m <sup>3</sup> /h
TEMP AGUA	7,0 °C

# CONCEITOS – SERPENTINAS E VÁLVULAS DE CONTROLE

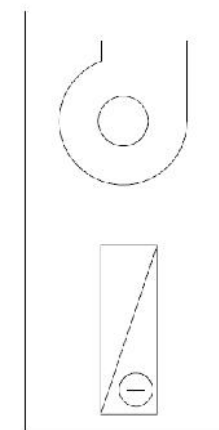
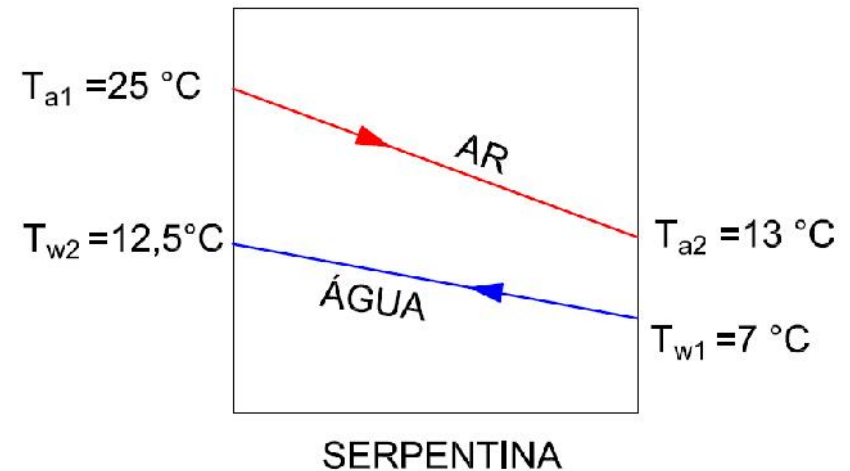


## SERPENTINA

Calor Sensível:

$$q = UA T_m$$

$$T_m = \frac{(T_{a1} - T_{w2}) - (T_{a2} - T_{w1})}{\ln [(T_{a1} - T_{w2}) / (T_{a2} - T_{w1})]}$$



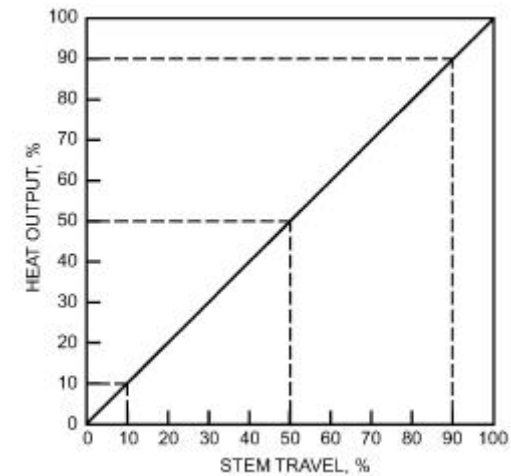
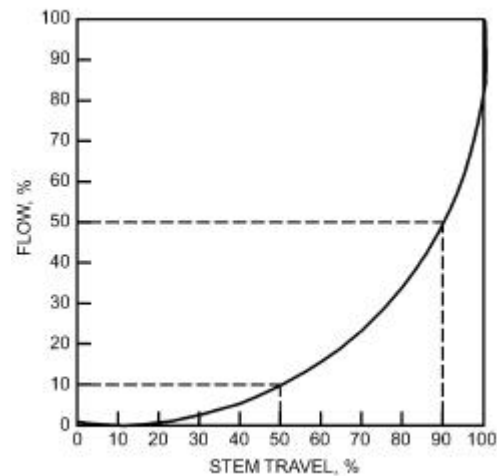
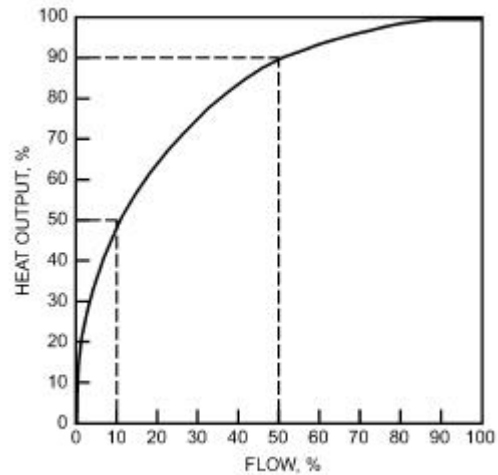
# CONCEITOS – SERPENTINAS E VÁLVULAS DE CONTROLE



## VÁLVULAS DE CONTROLE

47.8

2012 ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment (SI)



# CONCEITOS – SERPENTINAS E VÁLVULAS DE CONTROLE



## VÁLVULAS DE CONTROLE - AUTORIDADE

Valves

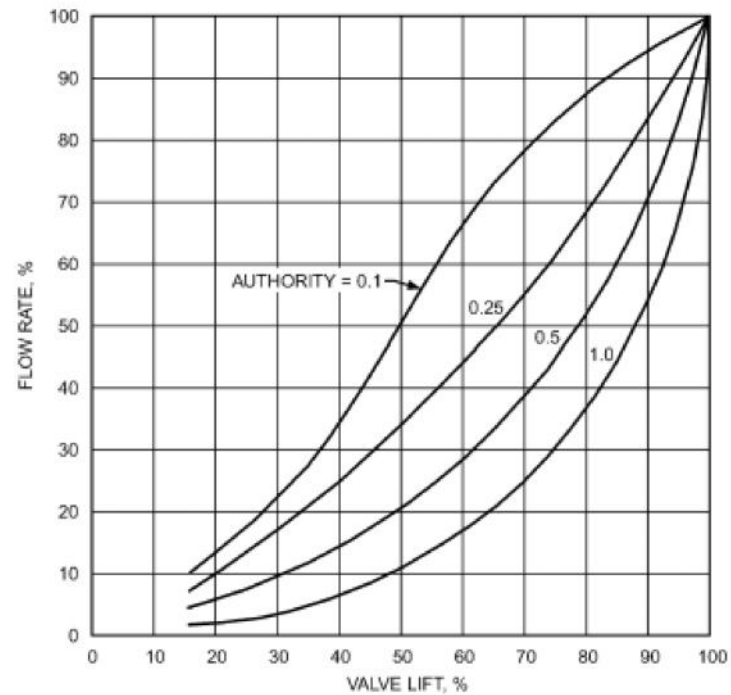


Fig. 19 Authority Distortion of Equal Percentage Flow Characteristic

2012 ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment (SI)

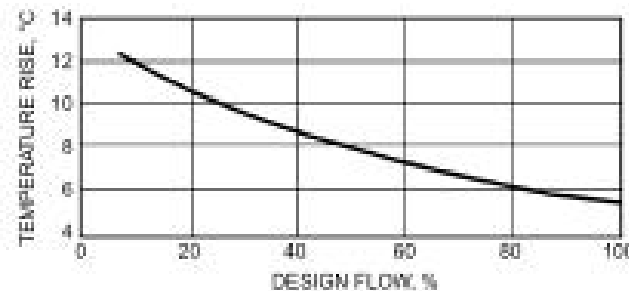
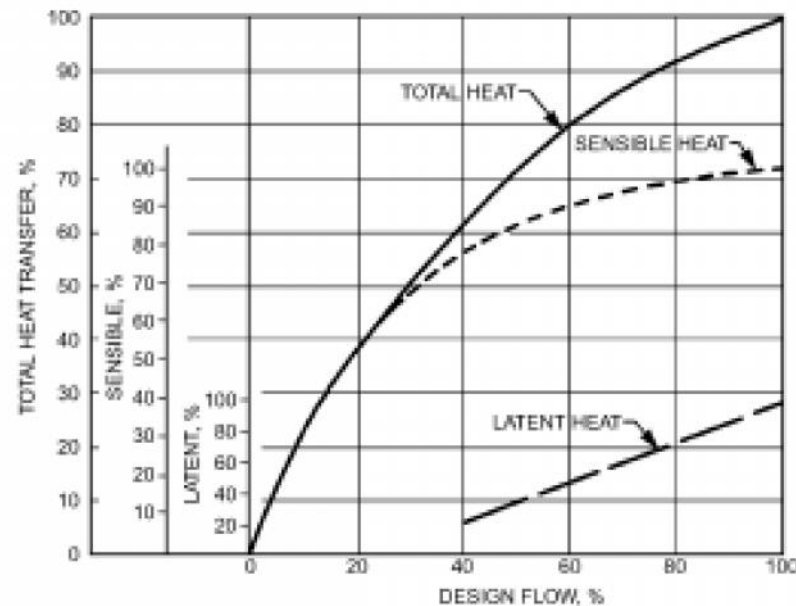
# CONCEITOS – SERPENTINAS E VÁLVULAS DE CONTROLE



## DESEMPENHO DA SERPENTINA, VAZÃO DE ÁGUA E T

38.8

2011 ASHRAE Handbook—HVAC Applications (SI)



# CONCEITOS – SERPENTINAS E VÁLVULAS DE CONTROLE



## SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO COM SOFTWARE DE SELEÇÃO:

Fabricante Nacional

Gabinete tamanho 10 TR (6800 m<sup>3</sup>/h)

Calor total = 35 kW = 10 TR

Vazão de ar = 6.800 m<sup>3</sup>/h

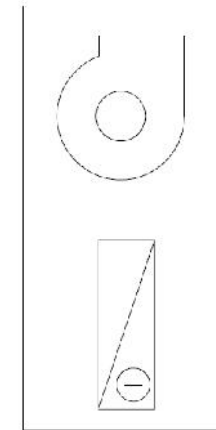
TBS / TBU = 25 °C / 18 °C

Temperatura de entrada da água = 7,0 °C

Vazão de água = 5,5 m<sup>3</sup>/h ( T=5,5°C)

Serpentina selecionada:

6 filas / 11 circuitos / 9 FPI



# CONCEITOS – SERPENTINAS E VÁLVULAS DE CONTROLE



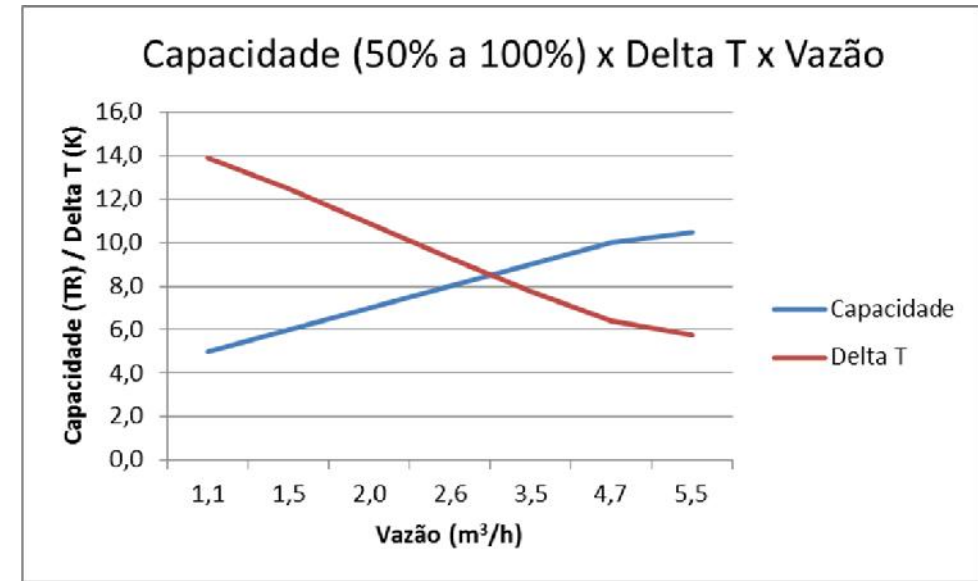
## SIMULAÇÃO – CARGA PARCIAL:

Gabinete tamanho 10 TR (6800 m<sup>3</sup>/h)

Carga térmica = 35 kW = 10 TR

Vazão de água = 5,5 m<sup>3</sup>/h ( T=5,5°C)

Serpentina: 6 filas / 11 circuitos / 9 FPI



	Capacidade (kcal/h)	Capacidade (TR)	Capacidade (%)	Vazão de Água (m <sup>3</sup> /h)	Vazão (%)	Temp. saída da água (°C)	Delta T (K)
Seleção (máximo)	31.625,10	10,5	5%	5,5	100%	12,7	5,7
Carga térmica	30.197,76	10,0	0%	4,7	85%	13,4	6,4
Carga = 90%	27.282,88	9,0	-10%	3,5	64%	14,8	7,8
Carga = 80%	24.239,03	8,0	-20%	2,6	47%	16,3	9,3
Carga = 70%	21.203,78	7,0	-30%	2,0	35%	17,9	10,9
Carga = 60%	18.082,54	6,0	-40%	1,5	26%	19,5	12,5
Carga = 50%	15.141,87	5,0	-50%	1,1	20%	20,9	13,9



# CONCEITOS – SERPENTINAS E VÁLVULAS DE CONTROLE



## SIMULAÇÃO – FILTRO DE AR SUJO

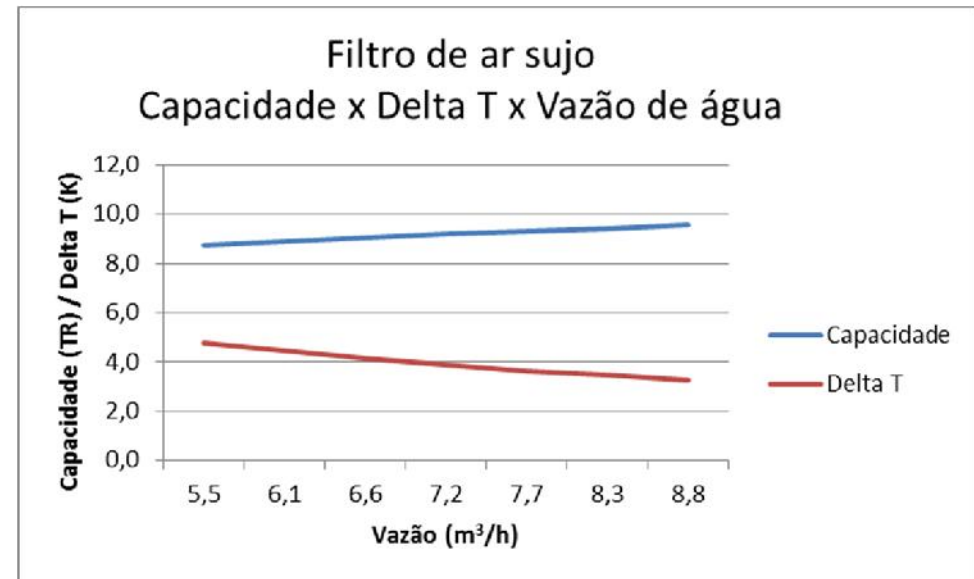
Gabinete tamanho 10 TR (6800 m<sup>3</sup>/h)

Carga térmica = 10 TR

Vazão de água = 5,5 m<sup>3</sup>/h ( T=5,5°C)

Serpentina: 6 filas / 11 circuitos / 9 FPI

Redução de vazão de ar 70% = 4760 m<sup>3</sup>/h



	Capacidade (kcal/h)	Capacidade (TR)	Capacidade (%)	Vazão de Água (m <sup>3</sup> /h)	Vazão (%)	Temp. saída da água (°C)	Delta T (K)
Vazão água proj	26.362,85	8,7	-13%	5,5	100%	11,8	4,8
Vazão água 110%	26.913,15	8,9	-11%	6,1	110%	11,4	4,4
Vazão água 120%	27.397,00	9,1	-9%	6,6	120%	11,1	4,1
Vazão água 130%	27.790,00	9,2	-8%	7,2	130%	10,9	3,9
Vazão água 140%	28.123,00	9,3	-7%	7,7	140%	10,7	3,7
Vazão água 150%	28.516,00	9,4	-6%	8,3	150%	10,5	3,5
Vazão água 160%	28.848,00	9,5	-5%	8,8	160%	10,3	3,3

# MITIGAÇÃO DO BAIXO DELTA T EM SISTEMAS DE ÁGUA GELADA



## CAUSA:

- Válvulas de controle inoperantes

## PROBLEMA:

Falta de controle ou controle manual leva a condições de temperatura de saída da água aleatórias

## AÇÕES:

- Substituição ou manutenção corretiva das válvulas de controle

# MITIGAÇÃO DO BAIXO DELTA T EM SISTEMAS DE ÁGUA GELADA



## CAUSA:

- Falta de balanceamento
- Perda de balanceamento

## PROBLEMA:

Serpentinas podem operar com excesso de vazão

## AÇÕES:

- Execução de balanceamento em instalações novas e em instalações existentes sempre que houver alterações relevantes no circuito hidráulico

# MITIGAÇÃO DO BAIXO DELTA T EM SISTEMAS DE ÁGUA GELADA



## CAUSA:

- Setpoint fora das condições de projeto
- Problemas de calibração de sensores de temperatura

## PROBLEMA:

Válvula de controle opera 100% aberta para alcançar uma capacidade térmica acima da condição máxima de projeto, operando com excesso de vazão sem alcançar o resultado desejado.

## AÇÕES:

- Manter setpoint dentro das faixas de projeto (automação)
- Identificar e corrigir problemas de calibração de sensores de temperatura

# MITIGAÇÃO DO BAIXO DELTA T EM SISTEMAS DE ÁGUA GELADA



## CAUSA:

- Falta de intertravamento entre a válvula de controle e o condicionador de ar

## PROBLEMA:

Válvula de controle permanece aberta permitindo o fluxo de água quando o condicionador de ar está desligado.

## AÇÕES:

- Programar lógica de comando para fechamento da válvula quando o status do condicionador for off (automação), ou;
- Utilizar atuadores normalmente fechados (NF) com retorno por mola, ou;
- Utilizar comando elétrico para fechamento da válvula quando o ventilador do condicionador for desligado

# MITIGAÇÃO DO BAIXO DELTA T EM SISTEMAS DE ÁGUA GELADA



## CAUSA:

- Ligação hidráulica invertida no condicionador de ar

## PROBLEMA:

O trocador de calor opera em configuração de corrente-paralela e não em contra-corrente, resultando em temperaturas de saída da água gelada mais baixas e deficiência de capacidade.

## AÇÕES:

- Inverter a ligação hidráulica do condicionador de ar

# MITIGAÇÃO DO BAIXO DELTA T EM SISTEMAS DE ÁGUA GELADA



## CAUSA:

- Filtro de ar sujo
- Incrustação da serpentina

## PROBLEMA:

A redução da vazão de ar pela obstrução do filtro ou da serpentina reduz a capacidade térmica do condicionador fazendo com que a válvula de controle se abra para tentar compensar esta deficiência.

## AÇÕES:

- Rotinas de manutenção adequadas para limpeza das serpentinas e substituição dos filtros
- Substituição de serpentinas velhas com muita incrustação e aletas danificadas
- Ventiladores acionados por variadores de frequência para compensar a variação de perda de carga nos filtros de ar no caso de aplicação de filtros de maior eficiência

# MITIGAÇÃO DO BAIXO DELTA T EM SISTEMAS DE ÁGUA GELADA



## CAUSA:

- Serpentina mal selecionada. Causas comuns:
  - Falta de conhecimento técnico dos responsáveis pela compra ou venda (compra de fan coil “por TR”, ou seja, por tamanho de gabinete);
  - falta de software de seleção;
  - baixa velocidade da água em função da escolha errada do número de circuitos;
  - falta de informação do  $\Delta T$  do sistema de água gelada

## PROBLEMA:

Deficiência de capacidade da serpentina leva a abertura da válvula de controle e operação com excesso de vazão. A seleção de serpentinas com baixa velocidade da água nos tubos pode levar ao escoamento em regime laminar, reduzindo significativamente a troca de calor e o  $\Delta T$ .

## AÇÕES:

- Verificação da seleção de cada serpentina pelo projetista ou profissional com conhecimento do assunto
- Procurar selecionar um número de circuitos que garanta velocidades mais altas em carga plena (maior perda de carga)
- Selecionar serpentinas com folga de capacidade



# MITIGAÇÃO DO BAIXO DELTA T EM SISTEMAS DE ÁGUA GELADA



## CAUSA:

- Válvulas de controle mal selecionadas, sem autoridade

## PROBLEMA:

Deficiência de controle leva a operação com excesso de vazão e baixo Delta T.

## AÇÕES:

- Selecionar válvulas com autoridade elevada
- Levar em consideração o diferencial de pressão de todo o circuito hidráulico e em diferentes condições de operação para dimensionamento da válvula

# MITIGAÇÃO DO BAIXO DELTA T EM SISTEMAS DE ÁGUA GELADA



## NOVAS TECNOLOGIAS EM BALANCEAMENTO E CONTROLE:

- Válvulas de controle independente de pressão:

Mantém o fluxo independente das variações de pressão no circuito hidráulico em função da atuação do regulador de pressão diferencial, evitando problemas de baixa autoridade da válvula de controle

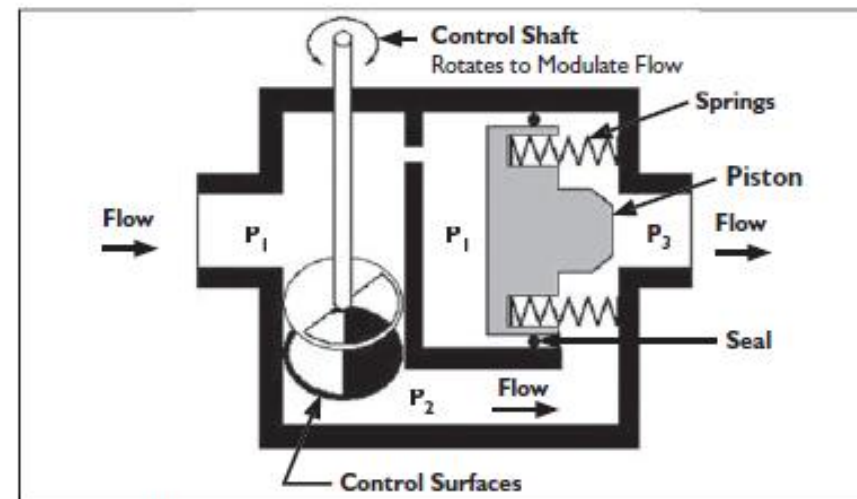
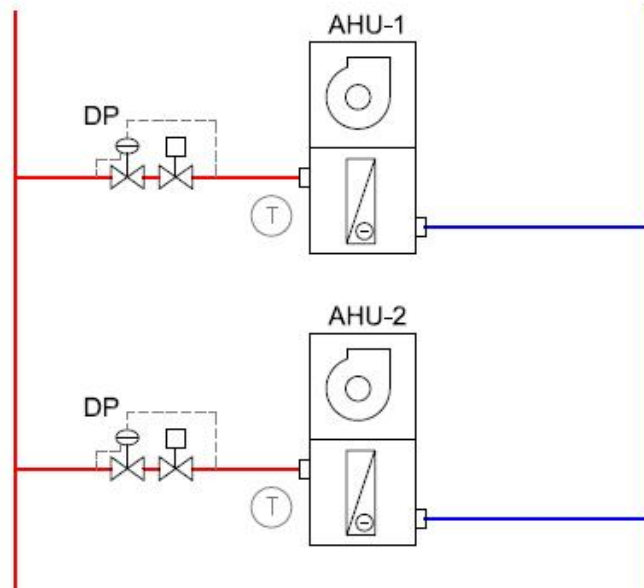


Figure 8: Pressure independent modulating two-way control valve.

ASHRAE Journal: *Building Performance with District Cooling* – Moe, Eric M. – July 2005

# MITIGAÇÃO DO BAIXO DELTA T EM SISTEMAS DE ÁGUA GELADA

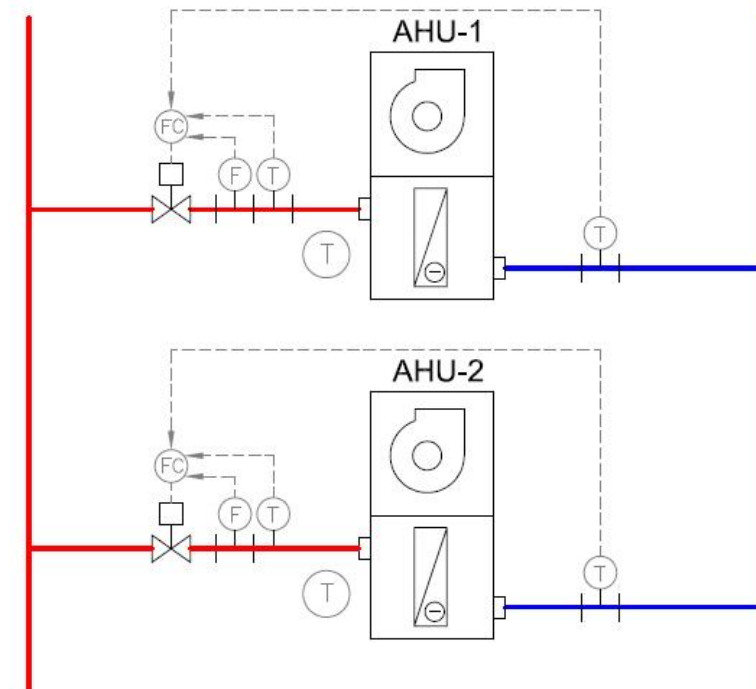


## NOVAS TECNOLOGIAS EM BALANCEAMENTO E CONTROLE:

- Válvulas de controle eletrônico independente de pressão com função de gerenciamento do  $\Delta T$

Medição de vazão associada a programação do controlador garante a função de controle independente de pressão.

Medição de temperatura na entrada e saída de água gelada permite medir o Delta T e a troca de calor, impedindo o acréscimo de vazão de água quando a serpentina está saturada (gerenciamento do  $\Delta T$ ).

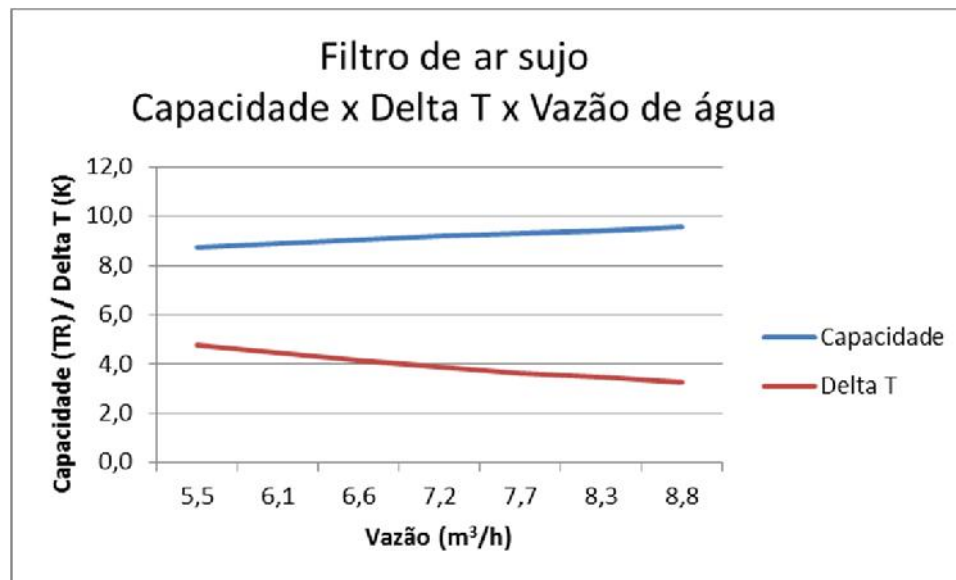


# MITIGAÇÃO DO BAIXO DELTA T EM SISTEMAS DE ÁGUA GELADA

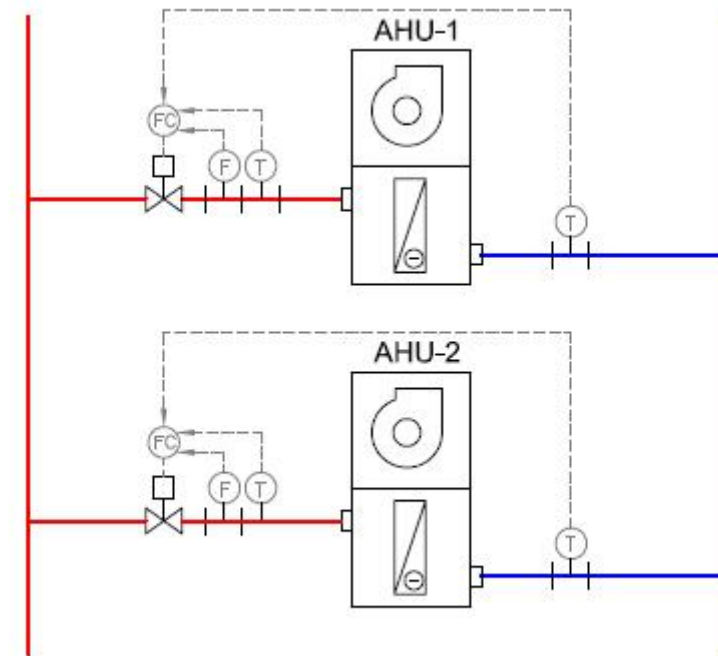


## NOVAS TECNOLOGIAS EM BALANCEAMENTO E CONTROLE:

- Válvulas de controle eletrônico independente de pressão com função de gerenciamento do  $\Delta T$



Exemplo de simulação de filtro de ar sujo e baixo  $\Delta T$  apresentado anteriormente



# SISTEMAS DE ÁGUA GELADA



PROGRAMA  
BRASILEIRO DE  
ELIMINAÇÃO DOS

**HCFCs**  
Projeto para o Cumprimento de CILIBERS

Apoio Institucional:



Execução



Implementação



Empoderando vozes.  
Fortalecendo nações.

Ministério do  
Meio Ambiente

Realização

