

Optimização dos Sistemas de Água Refrigerada, numa Universidade, com Válvulas de Controlo Inteligentes: Um Estudo de Campo

Gregor P. Henze

Walter Henry

Marc Thuillard

SUMÁRIO

A degradação da diferença de temperatura da água entre a ida e o retorno, conhecida também por degradação de ΔT , em sistemas de água refrigerada, tem sido regularmente observada e documentada ao longo dos últimos 25 anos. Em condições de carga parcial, nestes sistemas hidráulicos, a eficiência global é fortemente afectada por um elevado consumo energético nos circuladores como também por uma forte redução da eficiência dos grupos produtores de água refrigerada (chillers).

Este artigo descreve um estudo de campo levado a cabo em duas universidades, uma em Massachussets (MA) e outra no Colorado, durante o período quente de 2011. O objectivo deste estudo de campo, nas duas universidades, era minorar os efeitos negativos provocados pela degradação do ΔT e quantificar os ganhos obtidos, fazendo uso de válvulas de controlo inteligentes independentes da pressão. Os resultados de campo obtidos na MA, aplicando uma estratégia de gestão do ΔT , fazendo uso destas válvulas, permitiu servir novos espaços nesta universidade com o mesmo sistema, rede de distribuição e instalação central.

Palavras-chave: instalações de água refrigerada; degradação do delta-T; eficiência energética; renovação de edifícios

AEI 2013 © ASCE 2013

Autores:

Gregor P. Henze

Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering

University of Colorado Boulder

Boulder, Colorado

Email: gregor.henze@colorado.edu

Walter Henry

Massachusetts Institute of Technology

Cambridge, Massachusetts

Email: whenry@plant.mit.edu

Marc Thuillard

BELIMO Automation AG

Hinwil, Switzerland

Email: marc.thuillard@belimo.ch

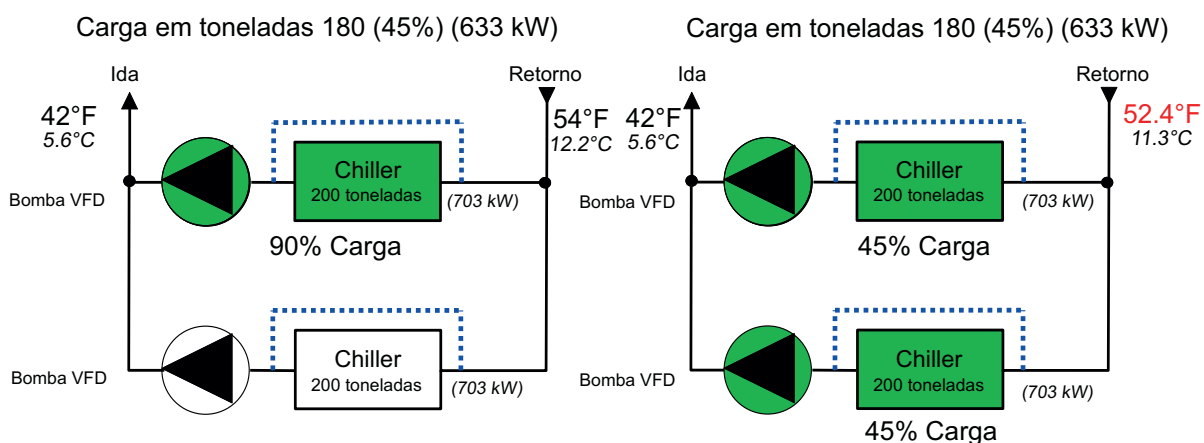
ÍNDICE

1 - Introdução	4
2 - Revisão da Literatura.	6
3 - Modelo de Desempenho da Serpentina de Refrigeração	7
4 - Descrição dos Sistemas de Água Refrigerada da Faculdade	9
5 - Descrição do Projecto de Reabilitação	9
6 - Resultados	11
7 - Resumo.	13
8 - Referências	14

1 - INTRODUÇÃO

A degradação da diferença de temperatura da água entre a ida e o retorno, conhecida também como degradação do ΔT , em sistemas de água refrigerada tem sido regularmente observada e documentada ao longo dos últimos 25 anos. Embora o problema da descida da temperatura, no lado da água, tenha sido referenciado regularmente, o verdadeiro problema reside no correspondente excesso de caudal de água. Particularmente sob condições de carga parcial, quando o caudal de água é excessivo face à carga de refrigeração necessária, poderá dar-se o arranque de um chiller e de uma torre de arrefecimento adicionais, por requisito de caudal de água, mesmo que o limite da capacidade de refrigeração dos chillers, em funcionamento, não tenha sido atingido. Tanto o elevado consumo energético dos circuladores como a menor eficiência operacional dos chillers nas situações de carga parcial concorrem para uma redução da eficiência global das instalações com produtores de água refrigerada.

Como factores comuns, causadores de um ΔT reduzido nas instalações de água refrigerada, incluem-se válvulas de controlo sobredimensionadas (originando controlo do tipo tudo/nada, oscilação entre abertura e fecho e controlo deficiente do caudal de água), desequilíbrio hidráulico e serpentinas parcialmente colmatadas pela sujidade (Taylor 2002). Como exemplo ilustrativo, imaginemos uma instalação central de água refrigerada equipada com dois chillers, de 200-Ton (703 kW) cada, em paralelo, sendo cada um deles servido por um circulador com variador de frequência acoplado. Partindo do princípio que a instalação opera com um ΔT de projecto de 12°F (6.7 K) entre a temperatura da água de ida e de retorno, uma carga de 180 tons (633 kW), equivalente a 45% da carga máxima, corresponderia a um caudal de água em circulação de 360 GPM (22.7 L/s) e o funcionamento de um só chiller a operar a 90% da sua capacidade tal como se mostra no esquema do lado esquerdo da figura 1. Se, contudo, por razões descritas atrás, o ΔT se degrada de 12°F para 10.4°F (5.8 K), considerando a mesma carga de 180 tons (633 kW), teríamos necessidade de um caudal de água em circulação de 414 GPM (26.1 L/s) ou seja, 15% mais do caudal que seria necessário, nas condições de projecto, provocando o arranque do 2º chiller e de uma eventual Torre de Arrefecimento adicional. Cada um dos chillers opera num regime de carga parcial muito inferior a 45%, provocando uma diminuição da eficiência da instalação central associada quando comparada com a que se obteria com um único chiller em operação perto da sua capacidade máxima.



\dot{V} = Caudal de água no circuito geral 360 GPM (22.7 L/s) \dot{V} = Caudal de água no circuito geral **414 GPM** (26.1 L/s)

Figura 1 - Instalação de água refrigerada central a operar com um ΔT de projecto de 12 °F (6.7K), esquema do lado esquerdo, e a operar com um ΔT degradado de 10.4 °F (5.8K), esquema do lado direito

Este fenómeno da degradação do ΔT foi também observado em diversas aplicações de aquecimento uma vez que, em instalações centrais surgiram novas caldeiras de condensação e sistemas combinados térmicos e eléctricos, por força dos desenvolvimentos tecnológicos, ao longo dos últimos 15 anos.

Particularmente em sistemas de aquecimento de grandes dimensões, tais como os utilizados para o aquecimento multi-residencial centralizado, a temperatura da água de retorno tem uma influência significativa sobre a eficiência geral do sistema.

Este artigo descreve um estudo de campo realizado nas faculdades de Massachusetts Institute of Technology (MIT) e da Universidade of Colorado Boulder (UCB) durante a época quente de 2011. A finalidade deste estudo experimental foi diminuir os problemas de degradação do ΔT em ambas as faculdades fazendo uso de válvulas de controlo inteligentes independentes da pressão diferencial e quantificar as melhorias obtidas.

Os dispositivos de controlo de caudal implementados, cinco no MIT e seis na UCB, são válvulas de controlo exponencial (igual percentagem) de duas vias com caudalímetro electro magnético, sensores de temperatura tanto nos circuitos de ida da água como nos de retorno, integrados numa unidade central com microprocessador capaz de desempenhar múltiplas estratégias de controlo. Além disso possui uma carta de comunicações com servidor web incorporado através da qual é possível descarregar os diversos programas, correspondentes às diversas estratégias de controlo, remotamente, via internet.

Estas válvulas de controlo, inovadoras, são imunes à variação da pressão no circuito de distribuição, dado que o caudal de água que atravessa a serpentina é regulado directamente pelo sinal de controlo, e não indirectamente através da posição do obturador da válvula. Se a pressão a montante variar a uma determinada solicitação de caudal, o microprocessador irá reajustar o obturador da válvula de modo a manter o novo caudal pedido através de controlo interno em cascata. Numa válvula de controlo convencional este reajuste será feito indirectamente pelo efeito que a variação de caudal, em excesso ou por defeito, provocaria no loop de controlo da serpentina. Adicionalmente, ao medir-se o caudal e o ΔT simultaneamente, poderão, ser calculadas as cargas de refrigeração e analisar a evolução da característica caudal/transferência térmica da serpentina ao longo do tempo, o que poderá ser útil para fins de diagnóstico.

Tirando partido de uma das características destas novas válvulas é possível implementar a estratégia de combate ao ΔT baixo, parcialmente derivada de Hartman (2000), que se encontra explicada com grande detalhe na Figura 3: o loop de “controlo do ΔT ” mede e monitoriza o seu valor e compara-o, em contínuo, com o ΔT_{lim} – valor de ajuste do ΔT mínimo. Caso o ΔT seja inferior a este ΔT_{lim} adicionado de um determinado valor de histerese, “o controlo do ΔT ” irá reajustar o valor do índice de caudal de água por modo a manter esse ΔT_{lim} .

2 - REVISÃO DA LITERATURA

Apesar de se optar, hoje em dia, por soluções de caudal de água variável nos circuitos primários, em várias instalações mais antigas, com alguma dimensão, a solução técnica mais comum tem-se baseado na separação dos circuitos primários dos circuitos secundários fazendo uso de circuitos de by-pass. Verifica-se também habitualmente que as redes de distribuição incluem circuitos de by-pass, em determinadas cargas terminais, de modo a proteger os circuladores de caudal constante contra o fecho das válvulas de controlo de 2 vias. De acordo com os fabricantes de chillers deverá ser assegurado um caudal de água constante nos circuitos primários por uma questão de estabilidade operacional dos mesmos. Por outro lado nos sistemas de aquecimento, é requerida uma temperatura de retorno elevada para evitar condensações nas caldeiras que são fonte de corrosão e danificação das mesmas. A existência de linhas de by-pass nos circuitos de distribuição bem como a configuração das redes primário/secundário em conjugação com os circuladores de velocidade constante conduzem a um caudal de água constante em circulação tanto no primário como no secundário e a uma inevitável degradação do ΔT nas situações de carga parcial tanto em instalações de arrefecimento como nas de aquecimento centralizadas.

Em particular nas instalações antigas de água refrigerada, com a configuração de primário/secundário, o elevado caudal em circulação provoca um elevado consumo energético nos circuladores de velocidade constante. Peyer e Bahnfleth (2006) demonstraram que este consumo, embora não seja enorme, é na realidade significativo. Um outro problema, embora de 2ª linha, reside na dificuldade de controlo de instalações com vários chillers, uma vez que recorrentemente é solicitado o arranque de um chiller adicional, por efeito do caudal de água em circulação, pese embora não se ter atingido o limite da capacidade de arrefecimento dos chillers em funcionamento. Ambos os efeitos contribuem para uma redução da eficiência geral do sistema. Por essa razão vários investigadores tais como Reed (2007), Harrell (2009), Taylor (2006) e Ma (2010) propuseram várias soluções para aumentar a eficiência destas instalações: incluir válvulas anti-retorno no by-pass; circuladores de velocidade variável; caudal de água variável nos circuitos primários para reduzir o caudal no by-pass. Taylor (2002) e Fiorino (1996) apresentaram uma descrição abrangente das diversas possibilidades de modo a reduzir o caudal de água nos circuitos hidráulicos nas condições normais de operação com o propósito de aumentar a diferença de temperaturas entre o caudal de água de ida e do retorno. Ambos os autores mencionam a oscilação das válvulas de controlo, em torno do seu ponto de ajuste (devido, por exemplo, ao sobredimensionamento das mesmas) como causa do caudal médio excessivo, em relação ao expectável, e por conseguinte da degradação do ΔT ; contudo a extensão desta degradação não é quantificada.

Num estudo de outra faculdade - a University of California Riverside defrontava-se com vários problemas no seu sistema de arrefecimento da água - constatou-se um valor baixo do ΔT e até mesmo medidas negativas da pressão diferencial em cargas remotas. Hyman e Little (2004) comunicaram que uma diminuição de 1°F (0,6 K) no delta T origina uma perda de 5% na capacidade do sistema de armazenamento de energia térmica de água refrigerada. À medida que a faculdade foi crescendo, o sistema de armazenamento de energia térmica existente deixou de poder assegurar as necessidades de refrigeração.

De modo similar, em grandes sistemas de aquecimento central, a degradação de ΔT desempenha um papel cada vez mais importante. Floss (2006) destaca que as caldeiras de condensação necessitam de uma temperatura bastante baixa no retorno para assim se conseguir um efeito significativo de condensação e a consequente eficiência energética. Na prática, muitas centrais combinadas, térmicas e eléctricas, ficam offline ou iniciam a refrigeração de emergência, sempre que a temperatura de retorno excede os 160°F (71°C). As causas que estão na origem da temperatura elevada da água de retorno nos sistemas centralizados de aquecimento são as mesmas que provocam uma temperatura da água de retorno demasiado baixa nos sistemas de água refrigerada: o caudal de água não se reduz à medida que as cargas baixam, conduzindo a um excesso de caudal de água e a uma degradação do ΔT .

No caso dos sistemas de aquecimento centralizado multiresidencial (district heating), a degradação de ΔT provoca, entre outros, os seguintes efeitos: consumo energético nos circuladores mais elevado; maiores perdas térmicas nas tubagens de retorno; e menor eficiência energética primária na central de produção de água quente e electricidade. Além disso o elevado caudal de água com um ΔT reduzido limita a capacidade de aquecimento do sistema global com a consequente limitação do número de consumidores a englobar na rede de distribuição do aquecimento.

3 - MODELO DE DESEMPENHO DA SERPENTINA DE REFRIGERAÇÃO

Foi desenvolvida uma ferramenta de simulação para gerar gráficos de desempenho de permutadores baseados nos comportamentos, sobejamente conhecidos, das serpentinas de refrigeração, secas e húmidas, apresentada por McQuiston, Parket e Spitler (2005), de modo a estabelecer um comportamento esperado da serpentina para uma determinada gama de condições de funcionamento, antes de analisar quaisquer dados operacionais. Consideremos uma serpentina de arrefecimento servida por um caudal de água arrefecida variável até 6.3 L/s (100 GPM) a uma temperatura de 5°C (valor de projecto) e a uma temperatura de 9°C (demasiado elevada). Consideremos ainda um fluxo de ar de mistura com um caudal constante de 3,540 L/s (7,500 CFM) a uma temperatura de 28°C com uma humidade relativa moderada de 40% Hr e com uma outra mais elevada de 80% Hr. Definindo a carga total (sensível e latente) normalizada da serpentina q_{Tot} como a carga que se atinge a um determinado caudal de água arrefecida em relação à carga máxima correspondente ao caudal máximo de água arrefecida (6.3 L/s) e o caudal normalizado Φ como o caudal de água a cada momento em relação ao caudal máximo, pode-se traçar a curva característica de cada serpentina para cada conjunto de valores dos parâmetros da água e do ar de entrada conforme se mostra no gráfico superior da pág2. No gráfico inferior da mesma fig. representa-se a evolução do ΔT (K) da água. As linhas a verde dizem respeito ao ar de entrada mais húmido (80% Hr) e as linhas a tracejado por seu lado dizem respeito à temperatura mais elevada da água de entrada (9 °C). Pese embora a carga total máxima ser de 161 kW, ao caudal máximo de água refrigerada a 5 °C e a uma humidade relativa de 80% Hr do ar a 28 °C, e de 71 kW, nas condições de água a 9 °C e humidade do ar a 40% Hr, a *característica normalizada da serpentina* permanece quase inalterada. Constatou-se também que para um caudal normalizado de 40% corresponde

uma transferência de 80%. Os restantes 16% da capacidade serão conseguidos duplicando o caudal de água de $\Phi=0.4$ para 0.8, efeito dos retornos decrescentes conhecidos por *saturação*. A válvula de controlo inteligente aqui apresentada foi parametrizada, durante o seu comissionamento, tendo em linha de conta o modelo da serpentina de arrefecimento sob controlo, por modo a detectar a saturação que ocorre para valores elevados do caudal normalizado como por exemplo $\Phi > 0.6$, i.é, > 3.78 L/s (60 GPM) no caso concreto em análise.

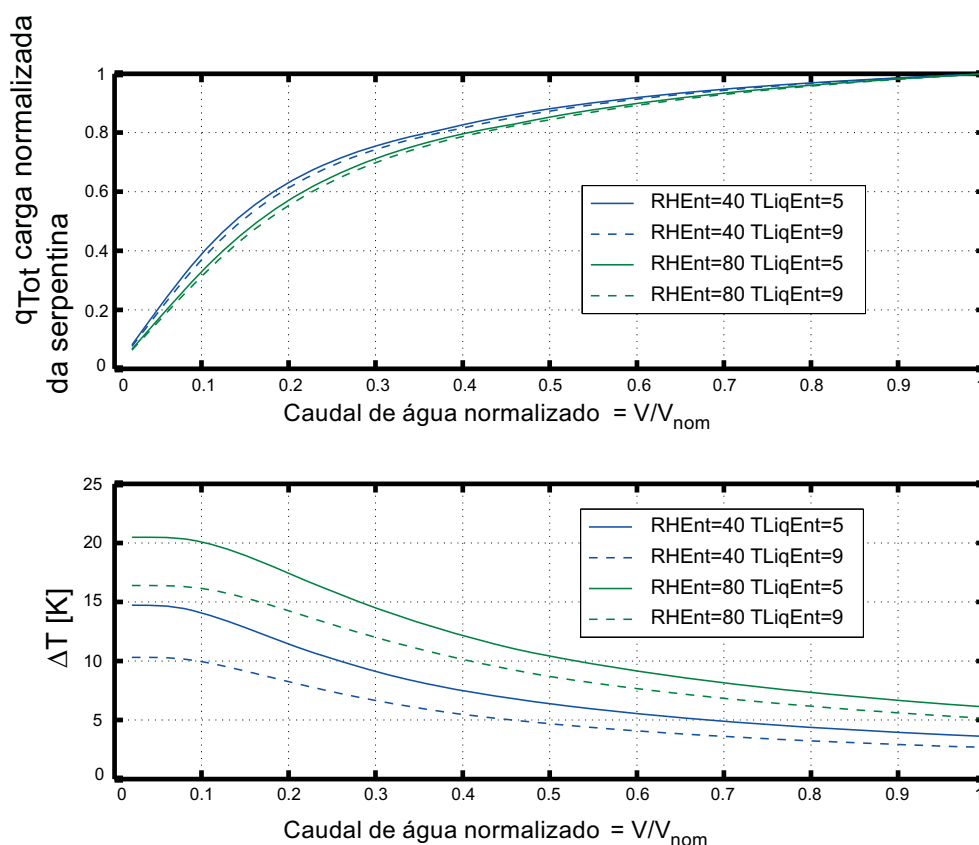


Figura 2: Performance da serpentina (acima) e evolução do ΔT (em baixo) em função do caudal normalizado

Um leitor mais atento reparará que o limite do ΔT deve ser cuidadosamente implementado. Escolhendo, por exemplo, um ΔT_{lim} de 6 K, iremos limitar o caudal de água normalizado a 55% e a carga total da serpentina a $q_{Tot}=91\%$, quando a temperatura da água refrigerada da entrada é igual à de projecto, ou seja 5°C e a humidade relativa do ar de entrada for 40% Hr. Considerando uma humidade elevada, de 80% Hr, do ar de entrada, o mesmo $\Delta T_{lim}=6K$ permite que o caudal de água atinja 95% do seu valor máximo e que a serpentina transfira cerca $q_{Tot}=99\%$. Por outras palavras um $\Delta T_{lim} = 6$ K permite uma transferência $> 90\%$ da capacidade máxima da serpentina. Se elevássemos o ΔT_{lim} para 12 K, o caudal normalizado ficaria limitado a 20% e a carga total da serpentina $q_{Tot} = 65\%$ nas condições de entrada: água a 5 °C e ar com 40% Hr. Considerando o ar com 80% Hr o mesmo ΔT_{lim} (12 K) conduziria a um caudal de água normalizado de 42% e o $q_{Tot} = 80\%$. Foi desenvolvida uma nova ferramenta de engenharia, em software, que analisa os dados operacionais da serpentina, durante várias semanas com a finalidade de determinar o ΔT_{lim} de modo a que o limite de caudal de água permita ao permutador de calor chegar ao limiar da zona de saturação, i.é. não limite em demasia a transferência de carga máxima da serpentina. No caso da faculdade de Massachussets, foi escolhido um ΔT_{lim} de 6.7 K (12 °F) utilizando a ferramenta supracitada.

4 - DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE ÁGUA REFRIGERADA DA FACULDADE

Em Massachusetts, o sistema de água refrigerada centralizado da faculdade universitária consiste num conjunto de vários chillers centrífugos de absorção e eléctricos com uma potência total de 30,400 toneladas (107 MW). Um estudo interno realizado em 2008 mostrou que o ΔT médio anual da instalação era 6°F (3.3 K) e atingia valores tão baixos quanto 2 °F (1.1 K). Esse estudo mostrou também que se pouparia cerca de \$1,5M, se o ΔT médio subisse para 12°F (6.7 K). Um dos exemplos com um ΔT muito baixo é o edifício da Hayden Library: trata-se de um edifício clássico construído em 1947 com um chiller próprio, tendo sido mais tarde incluído na rede de refrigeração geral da universidade. As serpentinas da unidade de tratamento de ar foram projectadas, em 1947, para um ΔT de 6°F (3.3 K), assumindo 50°F (10°C) na temperatura de água na entrada e de 56°F (13.3°C) na saída. Contudo, hoje a instalação está a funcionar com uma temperatura da água de ida a 44°F (6.7°C) - proporcionando, à partida, uma maior capacidade de arrefecimento da bateria e um maior ΔT entre 2 a 6°F (1.1 a 3.3K) somente. Vamos, no capítulo seguinte, descrever pormenorizadamente o projecto piloto implementado neste edifício para aumentar o ΔT .

5 - DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE REAJUSTE

A biblioteca principal da faculdade de Massachusetts está instalada num edifício de 3 pisos com uma área bruta de 153,000 pés quadrados (14,286 m²) construído em 1947. O tratamento do ar interior é assegurado por vários ventilo-convectores, em complemento a 6 unidades de tratamento de ar com capacidades que oscilam entre os 7,500 e os 30,000 cfm (de 3,540 a 14,160 L/s).

Tal como mencionado atrás, o ΔT médio das serpentinas das unidades de tratamento do ar era 6°F (3.3 K). A principal causa deste baixo ΔT era o excessivo caudal de água nas mesmas. Para melhorar esta situação, foram testadas duas estratégias de controlo num projecto piloto. Inicialmente foram testadas duas unidades de tratamento de ar, aplicando uma estratégia de controlo de ΔT , tendo sido numa delas substituída a válvula de controlo antiga, danificada, por uma nova, convencional, com o mesmo princípio de funcionamento, ou seja, dependente da pressão; na outra a válvula de controlo existente, foi substituída por um par de válvulas da nova geração independentes da pressão. O motivo da montagem de duas válvulas, deste tipo, a funcionar em paralelo, teve a ver com o facto do caudal máximo na serpentina exceder o limite de uma única válvula (na gama disponível na altura do ensaio). Convém salientar que na altura do ensaio a função do caudalímetro electromagnético, que hoje faz parte integrante desta nova geração de válvulas, foi assegurada por um sistema puramente mecânico de controlo da pressão diferencial

Tal como referido acima foi montada uma nova válvula de controlo, do tipo globo de modo a poder comparar válvulas dependentes da pressão e independentes da pressão. Aplicou-se a mesma estratégia de controlo do ΔT às três válvulas instaladas nas 2 unidades de tratamento de ar: em ambas o ΔT aumentou para 12°F (6.7 K), verificando-se, contudo, que o conjunto de válvulas independentes da pressão teve um melhor comportamento no controlo, evidenciado por um menor desvio standardizado, de apenas 0.7°F (0.4 K) em comparação com o 1.5°F (0.8 K) observado no caso da válvula dependente da pressão. Chegou-se assim à conclusão que tanto a estratégia de gestão de ΔT como a independência da pressão foram factores importantes na obtenção dos resultados mais consistentes.

À medida que foram sendo lançadas no mercado válvulas independentes da pressão de maior dimensão, com algoritmo de gestão do ΔT , as restantes quatro válvulas das unidades de tratamento do ar a par da válvula de controlo convencional, acima referida, foram substituídas por válvulas de controlo inteligentes, da nova geração. A unidade de tratamento de ar AHU-5, equipada com um sistema mecânico de controlo da pressão diferencial à qual foi aplicada a estratégia de controlo do ΔT não foi mexida dada a sua eficiente operação. Uma vez que esta solução não permitia ler o caudal com a exactidão dos caudalímetros electromagnéticos que equipam as novas válvulas, a unidade AHU-5 foi excluída da análise que se apresenta de seguida.

É apresentado na fig. 3 abaixo, de forma esquemática, o protótipo da renovação das unidades de tratamento do ar equipadas com uma válvula de controlo inteligente que recebem um sinal de comando analógico, proveniente do sistema de automação centralizado do edifício, como se se tratasse de uma válvula de controlo tradicional. A fim de se realizar um estudo aturado da performance destas válvulas, neste caso concreto, foi atribuído um PC dedicado a cada uma delas com um software específico para aquisição de dados e uma ligação sem fios, à Internet, para possibilitar uma monitorização e controlo de manutenção remotas.

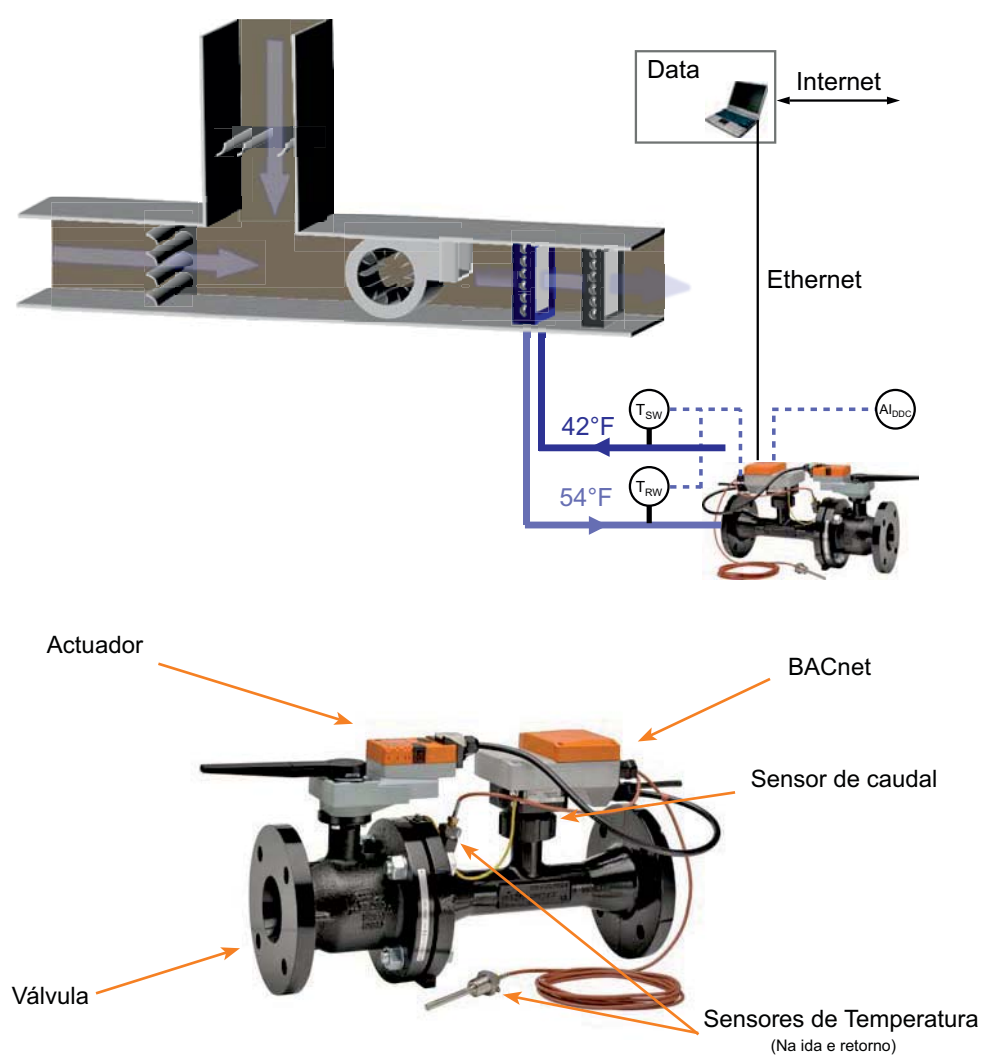


Figura 3: Configuração experimental do caso em estudo (em cima) e válvula de controlo inteligente (em baixo)

6 - RESULTADOS

A figura 4 documenta os resultados obtidos numa das serpentinas de arrefecimento, da AHU-6, da biblioteca de Massachusetts, onde se inseriram os pares, potência de refrigeração [Btu/h] e caudal de água [GPM] lidos na própria válvula, sem recorrer a sistemas de leitura externos. À medida que o caudal aumenta de 0 até 60 GPM (0 a 3.8 L/s), a potência de arrefecimento aumenta de 0 até 300 kBtu/h (0 até 88 kW), sendo notório um comportamento de saturação exponencial: enquanto os primeiros 20 GPM (1.3 L/s) fornecem grosso modo 180 kBtu/h (53 kW), os últimos 20 GPM, de 40 a 60 GPM (2.6 a 3.8 L/s) são responsáveis por um acréscimo inferior a 40 kBtu/h (12kW).

No lado da água a diferença de temperatura, com um valor inicial aprox. de 25°F (14 K) baixa com o aumento do caudal de água para 5°F (2.8 K), num registo aproximadamente inverso da potência de arrefecimento. Tanto a potência térmica fornecida como a diferença de temperatura no lado da água apresentam um comportamento idêntico ao da análise feita na Figura 2.

A capacidade da válvula de controlo inteligente de monitorizar a energia de arrefecimento total versus o caudal permite conhecer a característica da transferência da serpentina. Uma monitorização contínua, destes parâmetros, poderia alertar para a colmatção excessiva da serpentina sempre que se detectasse uma alteração substancial da sua característica. O conhecimento, agora possível, da característica da performance da serpentina pode, adicionalmente, revelar-se extremamente útil para se obter as condições operacionais reais que se constatarem ser bastante diferentes das condições do projecto – como no caso das serpentinas da Hayden Library: os melhoramentos aqui reportados foram conseguidos (em cinco dos seis casos) com as serpentinas originais projectadas em 1947 para um diferencial de 6°F (3.3 K), ou seja, uma baixa transferência de energia de arrefecimento. O facto destas serpentinas terem sido projectadas para um diferencial de temperaturas tão baixo e poderem, efectivamente, aumentar a sua capacidade de arrefecimento é de vital importância uma vez que contradiz a premissa de ter de substituir a serpentina como pré requisito para melhorar a performance do ΔT da instalação.

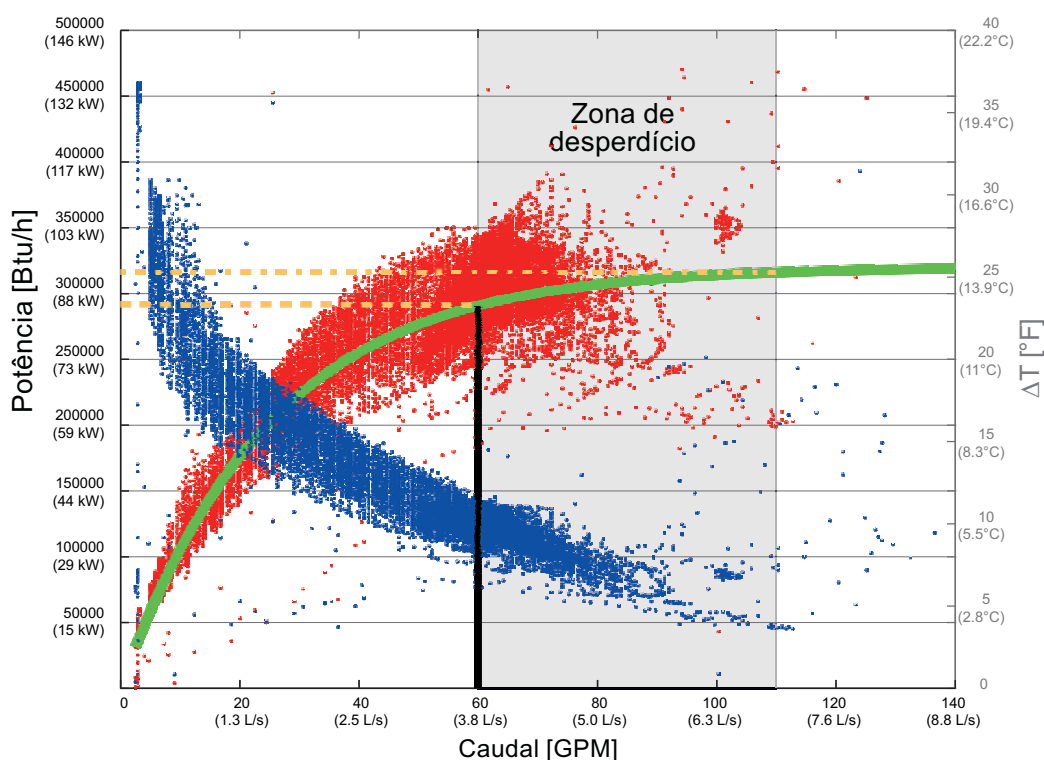


Figura 4: AHU-6 performance da serpentina de arrefecimento - de 1 a 22 de Julho de 2011 - potência a vermelho e ΔT a azul

Conforme antecipado pela análise, o efeito de retornos decrescentes com o aumento de caudal de água é evidenciado na Figura 4. Se um operador tivesse consciência do benefício marginal obtido ao forçar a circulação dos últimos 20 GPM (1.3 L/s) de água através da unidade AHU-6, assim como da baixa diferença da temperatura de 14°F para 10°F (7.8K para 5.6K), ele/ela poderia decidir restringir o caudal de água e em consequência baixar a potência eléctrica do circulador em detrimento de uma perda marginal na capacidade da serpentina. No entanto detectar este efeito de saturação não é algo de trivial, uma vez que depende do caudal e do estado do ar de entrada e, em particular, da temperatura da água de entrada. Na verdade, nas cinco serpentinas de refrigeração rehabilitadas na faculdade de MA, os efeitos da degradação do ΔT foram significativamente diferentes. Neste estudo de campo foi decidido implementar a estratégia de gestão do ΔT que consiste em limitar o caudal de água de modo a que o ΔT não baixasse além de 12°F (6.7 K). A Figura 4 revela que este critério de ΔT_{lim} permite, na verdade, que ocorra a saturação, i. é., que a serpentina forneça, quase, a sua capacidade máxima.

Deve ser destacado que ao monitorizar a curva de potência vs. caudal, a zona de desperdício poderia ser definida tanto por um limite do ΔT como por um limite de caudal uma vez que ambos estão intimamente relacionados. A gestão do ΔT pode ser implementada quer por limite de ΔT quer por limite de caudal de água operacionais. A escolha de uma ou de outra estratégia depende de cada aplicação concreta. No caso em estudo no MA ambas as estratégias conduziram a bons resultados.

Ao contabilizar o número de horas de saturação durante o período quente de 2011, tornou-se óbvio que as cinco unidades de tratamento de ar, equipadas com válvulas de controlo inteligentes, apresentaram resultados bastante distintos conforme se pode constatar na Figura 5. Enquanto a AHU-4 (reabilitada com uma serpentina com muitas fiadas e um ΔT de projecto de 14°F [7.8 K]) e a AHU-1 apresentam cerca de 10-15% de horas de saturação, as serpentinas das unidades AHU-2, 3 e 6 estão saturadas cerca de 40% a 80% do tempo. Até mesmo uma pessoa experiente na operação (gestão) de edifícios teria dificuldade em identificar à priori qual das serpentinas, numa rede de distribuição, tem maior probabilidade de saturação energética, sendo portanto aconselhado optar por dispositivos terminais inteligentes para identificar essa condição.

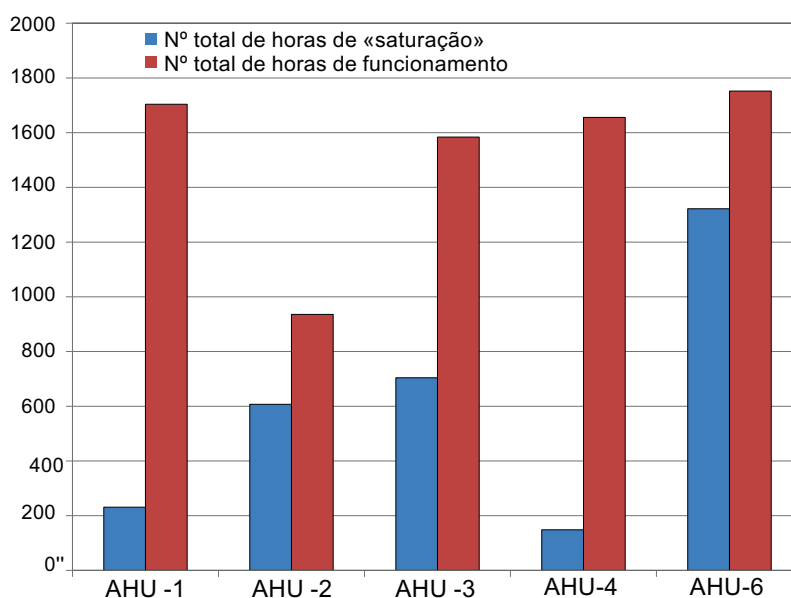


Figura 5: Biblioteca da MA - nº total de horas de operação e saturação no período quente de 2011

Foi repetida no Colorado, no mesmo período, uma experiência semelhante à da faculdade de MA. A instalação central da faculdade de CO tinha já apresentado vários problemas derivados do síndrome de ΔT baixo, ocorridos em vários dos seus edifícios, que originaram, na própria central, uma sobrecarga nos circuladores (excesso de caudal) e uma gama de ΔT tão baixo quanto 4°F (2.2 K). O edifício onde funciona o departamento de música, sendo um dos mais próximos da instalação central, “exigia” um caudal de água excessivo e apresentava um ΔT de retorno insignificante, tendo sido, por este motivo, o escolhido para se avaliar o resultado da montagem de válvulas de controlo independentes da pressão, com o objectivo de incluir mais edifícios, «hidraulicamente» afastados, no sistema centralizado de produção e distribuição de energia térmica existente. A recolha de dados no CO continuou em 2012, confirmando-se as tendências apresentadas na Fig. 4. A faculdade do CO tem vários edifícios que necessitam de ser integrados na rede de distribuição de água refrigerada da instalação central. Com a independência da pressão, aplicada aos edifícios integrados na rede actual, espera-se libertar capacidade suficiente para alimentar esses outros edifícios, sem dispêndio excessivo de capital, esperando não ser necessário aumentar a própria central e as tubagens existentes.

7 - RESUMO

Ao avaliar o impacto da reabilitação das seis unidades de tratamento de ar (cinco com válvulas de controlo inteligentes e uma com uma válvula de controlo de pressão mecânica) numa biblioteca na faculdade de Massachusetts, foi possível fazer uma comparação, em dois períodos homólogos, nos anos de 2010 e 2011, quanto à variação média da temperatura da água refrigerada do sistema de arrefecimento centralizado. De 9 de Agosto até 9 de Outubro de 2010, i. é. antes da reabilitação, o ΔT médio do conjunto de edifícios em análise não passou de uns meros 6.15°F (3.42 K). Depois da reabilitação das seis serpentinas de refrigeração a média de ΔT do edifício da biblioteca quase duplicou para 12.14°F (6.74 K), conforme foi confirmado pelos dados recolhidos pós reabilitação.

Tornou-se assim evidente que as válvulas de controlo independentes da pressão, em conjugação com uma estratégia de gestão de ΔT , melhorou significativamente a relação carga/caudal deste edifício. Esta melhoria permite à faculdade alargar a rede de distribuição de água de refrigeração a mais cargas (edifícios), no perímetro da própria faculdade, com a mesma instalação e rede hidráulica centrais, uma vez que se consegue uma forte optimização do caudal de água no circuito de distribuição.

REFERÊNCIAS

Bahnfleth, W. and E. Peyer (2006)

"Energy use and economic comparison of chilled water pumping alternatives."

ASHRAE Transactions Vol. 112 Pt.2, pp.198-208.

Fiorino, D.P. (1996)

"Twenty-five ways to raise your chilled-water temperature differential."

ASHRAE Transactions, Vol. 102 Pt. 1, pp. 567-572.

Floss, A.G. (2005)

"Effizienzmessung bei Brennwert-Heizungsanlagen."

IHK Fachjournal 2005/2006 (Fachzeitschrift für Planungsbüros, Anlagenbau, Öffentliche Hand und Fachhandel), pp. 94-97.

Hartman, T.B. (2000)

"High-efficiency pumping and distribution system incorporating a self-balancing, modulating control valve."

U.S. Patent No. 6,352,106, U.S. PTO.

Harrell, J.M. and Mathias, J.A. (2009)

"Improving efficiency in a campus chilled water system using exergy analysis."

ASHRAE Transactions, Vol. 115 Pt. 1, pp. 507-522.

Hyman, L.B. and D. Little. "

Overcoming Low Delta-T, Negative Delta-P at Large University Campus."

ASHRAE Journal, February 2004: 28-34.

Ma, Z. and Wang, S. (2010)

"Enhancing the performance of large primary-secondary chilled water systems by using bypass check valve."

Energy doi:10.1016/j.energy.2010.10.042

McQuiston, F., J. Parker, and J. Spitler (2005)

Heating, Ventilating, and Air Conditioning.

Sixth Edition. John Wiley & Sons, Inc.

Reed, M.A. and Davis, C. (2007)

"Chilled water plant savings at no cost." Energy Engineering,

Vol. 105 Pt. 2, pp. 59-76.

Taylor, S.T. (2006)

"Chilled water plant retrofit – a case study (Sonoma State University)."

ASHRAE Transactions, Vol. 112 Pt. 2, pp. 187-197.

Taylor, S.T. (2002)

"Degrading Chilled Water Plant Delta-T: Causes and Mitigation."

ASHRAE Transactions, Vol. 108 Pt. 1, pp. 641-653.