Processo de retrocomissionamento - estudo de caso -

Na 47ª reunião do Comitê Executivo do Fundo Multilateral para a Implementação do Protocolo de Montreal, em 2005, foi aprovado o desenvolvimento de um projeto demonstrativo com o objetivo de realizar o manejo integrado no subsetor de resfriadores de líquidos, com ênfase na utilização de tecnologias energeticamente eficientes e livres de CFC.

A iniciativa deu origem ao "Projeto Demonstrativo para o Gerenciamento Integrado do Setor de Chillers (Projeto BRA/12/G77)", que visa estimular projetos de sistemas de água gelada otimizados e processos de retrocomissionamento de sistemas de ar condicionado em edifícios existentes. O projeto envolveu uma série de atividades, como os cursos e workshops realizados no Rio de Janeiro, Fortaleza, Brasília e São Paulo no decorrer de 2016; elaboração de guia informativo; elaboração de manual sobre sistemas de água gelada; e execução de quatro processos de retrocomissionamento em sistemas de água gelada que utilizam os fluidos refrigerantes CFC ou HCFC. O caso relatado nas páginas seguintes foi um desses processos.

O Projeto BRA/12/G77 é coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e implementando pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Para a execução das atividades foi contratada, por meio de processo licitatório, a empresa Somar Engenharia.

Execução

SOMAR®

Implementação

PNUD

Empoderando vidas.
Fortalecendo nações.

Realização

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

BRASIL GOVERNO FEDERAL

1. Introdução

O retrocomissionamento é o processo de comissionamento a ser realizado em edifícios existentes, que consiste em uma investigação detalhada do sistema, incluindo projeto executivo, instalação e condições de operação e desempenho atuais, a fim de identificar problemas e otimizar o sistema de ar condicionado do edifício.

O retrocomissionamento não é um simples diagnóstico energético do sistema, pois tem como principal objetivo recuperar os requisitos de conforto, qualidade do ar e eficiência do projeto. Os processos de auditoria de energia utilizados como referência de análise para projetos de substituição de chillers nem sempre se mostram eficazes, pois muitas vezes todo o sistema de ar condicionado está ineficiente, incluindo equipamentos, controle e operação. Além disso, os projetos de substituição de chillers exigem maiores investimentos e só se viabilizam em edifícios com sistemas obsoletos e muito deficientes.

Já o processo de retrocomissionamento se mostra viável mesmo em sistemas com poucos anos de funcionamento. Quanto melhor elaborado o projeto e mais eficiente o conceito do sistema, maiores são as oportunidades de otimização para efetivamente atender aos requisitos dos usuários nos ambientes, com aumento significativo da eficiência do sistema e retorno do investimento em prazos muito curtos.

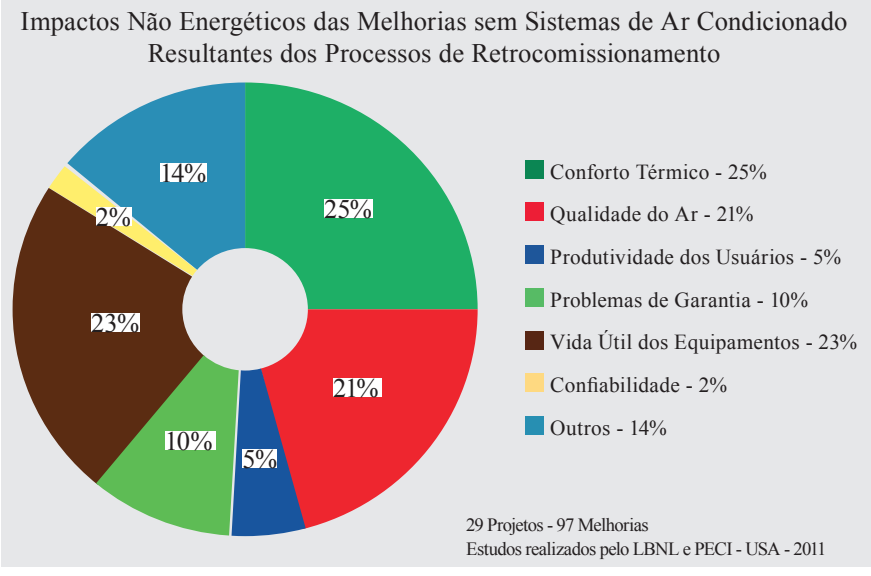
Processos de retrocomissionamento em sistemas de ar condicionado aplicados nos EUA mostraram resultados com aumento da eficiência energética entre 15% e 40% após as medidas de correções, além de impactos não energéticos, alguns mais relevantes, como o conforto térmico, a qualidade do ar interior e a produtividade dos usuários.

2. Processo de retrocomissionamento: projeto demonstrativo – estudo de caso

O Projeto Demonstrativo para o Gerenciamento Integrado no Setor de Chillers, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e implementado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), no âmbito do Protocolo de Montreal, inclui a execução de processos de retrocomissionamento em instalações de ar condicionado com sistemas de água gelada utilizando chillers, em quatro edifícios existentes, com o objetivo de identificar oportunidades de melhorias no sistema para aumento da eficiência energética, redução de custos operacionais e benefícios para a proteção da camada de ozônio e sistema climático.

Durante a execução do processo de retrocomissionamento do sistema de ar condicionado do Edifício 01 foram realizadas as principais atividades de investigação e análise do sistema, com os resultados relatados em seguida.

Figura 01 – Impactos não energéticos das melhorias em sistemas de ar condicionado resultantes de processos de retrocomissionamento



3. Resultados da análise: análise do projeto executivo

3.1 Descrição do sistema de água gelada

A central de água gelada do projeto inicial era constituída por um sistema com termoacumulação de gelo, utilizando dois chillers com compressores parafuso (cada um com capacidade de 1408 kW – 400 ton), utilizando HCFC-22, com condensação a água, operando em sistemas com circuitos primário e secundário de água gelada (solução de água e etileno glicol a 25% em peso), com dois tanques de termoacumulação.

A carga térmica máxima de projeto do edifício é de 3973 kW (1130 ton). Portanto, nos períodos de picos de carga térmica durante o verão, era necessário o funcionamento dos 2 chillers em sua máxima capacidade (2816 kW) com consumo de gelo parcial, como complemento de carga (máximo de 1157 kW – 330 ton).

Os chillers (URs) operavam com

duplo *setpoint* de controle de água gelada. No período normal de operação, os chillers atendiam o circuito secundário de água gelada do sistema de ar condicionado, com *setpoint* da temperatura de saída de água gelada dos chillers em 5,5ºC. No período noturno, os chillers atendiam os tanques de termoacumulação de gelo, durante o período de fabricação de gelo, com *setpoint* da temperatura de saída de água gelada dos chillers em -6,1ºC.

Em 2012 foi executado um projeto de alteração do sistema e adotado um novo conceito de operação que é o de circuito único com vazão variável, com apenas a bomba principal (do circuito secundário existente) operando para a circulação da água gelada nos condicionadores de ar com os chillers operantes em série, no retorno da linha principal para o resfriamento da água gelada.

Deste modo, as BAGPs foram desativadas e desde então os chillers operam com vazão variável, a mesma vazão total que atende os condicionadores de ar do sistema de ar condicionado.

O projeto de alteração incluiu ainda a instalação de mais um chiller no sistema (UR-03), de maior capacidade (2645 kW – 752 ton), de forma a atender a carga térmica máxima do edifício (3973 kW - 1130 ton), em operação paralela com um chiller menor, sem a necessidade de consumir gelo nos horários de pico de carga térmica. O outro chiller menor opera como reserva.

Devido ao ótimo desempenho da operação do novo sistema, a rotina operacional mudou e o processo de termoacumulação de gelo foi desativado. Com isso, os tanques de termoacumulação de gelo foram isolados do restante do sistema e a solução de etileno glicol foi substituída por água gelada apenas.

O calor rejeitado dos chillers é retirado através de um circuito de água de resfriamento, com bombas de água de resfriamento (BACs) dedicadas aos chillers (além de uma bomba reserva) e enviado a 3 torres de resfriamento (TRs). No novo sistema, as 3 torres são operantes. Apenas com o UR-03 operam 2 torres. Cada chiller de menor capacidade opera com 1 torre.

As bombas do circuito secundário, que foram renomeadas para bombas principais – BAGMs – suprem o circuito de distribuição de água gelada para as serpentinas dos fancoils, instalados nos pavimentos do edifício, e para os chillers. As bombas principais operam com frequência variável, sendo uma bomba operante e outra reserva.

O edifício possui 27 pavimentos, com 1 fancoil por pavimento nos pavimentos típicos (1º a 24º) e fancoils menores nos pavimentos térreo, mezanino e do 25º ao 27º. Os fancoils possuem válvulas de controle de vazão de água gelada do tipo 2 vias, que são controladas pela temperatura de insuflação do ar na saída de cada fancoil.

Em julho de 2012 foi realizado um diagnóstico de desempenho do sistema, quando verificou-se que o COP

Divulgação
Foto 01 - Central de Água Gelada: Chillers

Divulgação
Foto 02 - Central de Água Gelada: BAGMs e BAGXs

Divulgação
Foto 03 - Central de Água Gelada: BACs

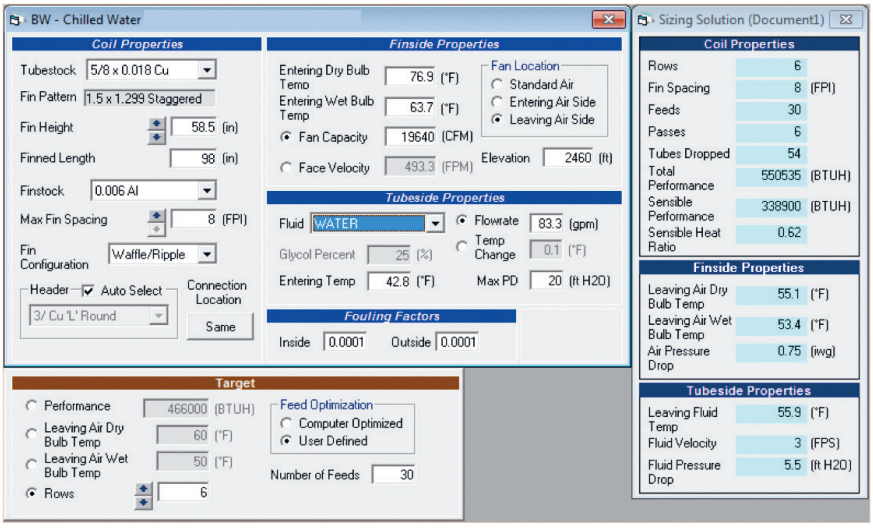
Divulgação
Foto 04 - Torres de Resfriamento

da CAG era de 2, 815. Com o novo sistema em funcionamento já em 2013, com os dados obtidos do novo diagnóstico de desempenho realizado, verificou-se que houve um aumento de eficiência energética da ordem de 50% em relação ao sistema em 2012, com o COP da CAG atingindo 4,231, mesmo com um chiller antigo em operação.

Tabela 01 - Ar Externo

Pavimento	Nº de pessoas	Área	Vazão de Ar Externo Projeto	Vazão de Ar Externo NBR16401 Nível 01	Desvio	Vazão de Ar Externo NBR16401 Nível 02	Desvio
		(m²)	(m³/h)	(m³/h)	(%)	(m³/h)	(%)
1º	170	1235	3398	2864	18,7%	3676	-7,6%
2º	180	1235	3398	2954	15,0%	3787	-10,3%
3º	180	1235	3398	2954	15,0%	3787	-10,3%
12º	205	1235	3398	3179	6,9%	4066	-16,4%
16º	160	1252	3568	2792	27,8%	3588	-0,6%
17º	220	1252	3568	3332	7,1%	4258	-16,2%
18º	210	1252	3568	3242	10,1%	4146	-14,0%
19º	180	1270	3568	2992	19,3%	3838	-7,0%
20º	200	1067	2888	2952	-2,2%	3768	-23,4%
21º	210	1067	2888	3042	-5,1%	3880	-25,6%
22º	120	1067	2888	2232	29,4%	2876	0,4%
23º	80	576	1546	1342	15,2%	1722	-10,2%
24º	40	554	1699	958	77,3%	1244	36,6%
25º	15	322	799	483	65,5%	631	26,6%
26º	20	365	866	574	50,8%	749	15,7%
Vazão Total Atual	2190	14984	41438	35893	15,4%	46017	-10,0%

Figura 02 – Resultados da simulação do cálculo da serpentina de um fancoil típico, utilizando água gelada a 6,0°C.



3.1.1 Verificação da funcionalidade do sistema

Com a execução do projeto de modificação, o sistema de água gelada foi readequado e otimizado para as novas condições de operação do sistema, incluindo novos elementos de controle e monitoração da eficiência do sistema. Foram verificadas as seguintes melhorias no sistema:

- Aumento da capacidade total dos chillers,
- Chiller reserva,
- Válvulas de balanceamento nos chillers,
- Circuito único com vazão de água gelada variável,
- Inversores de frequência nos ventiladores das torres de resfriamento e controle da temperatura de água de resfriamento na saída das torres,
- Inversores de frequência nas BACs,
- Monitoração da capacidade e da eficiência energética (COP) dos chillers e do sistema de água gelada.

Na página ao lado, algumas fotos do sistema de água gelada.

3.1.2 Verificação do dimensionamento do sistema atual

O sistema atual está dimensionado de maneira adequada para atender a carga térmica máxima de projeto do edifício, porém, conforme análise de desempenho real realizada em 2012, os chillers com HCFC-22 estão com capacidade efetiva de apenas 1180 kW (335 ton). Apesar da deficiência, devido ao índice de ocupação do edifício inferior a 80%, a capacidade da CAG atual atende a carga térmica atual do pico de verão.

Os demais equipamentos estão dimensionados de acordo com os requisitos do projeto e com controle adequado para manter a estabilidade operacional do sistema.

3.1.3 Verificação dos circuitos hidrônicos

O circuito de água gelada foi alterado e as vazões de projeto nos chillers readequadas para as novas condições do sistema. Foram instaladas válvulas de balanceamento nos chillers, para garantir a distribuição de vazão adequada. Porém, o circuito hidrônico de distribuição de água gelada para os fancoils não possui válvulas de balanceamento.

3.1.4 Verificação dos documentos de projeto

Na análise dos documentos de projeto do sistema de ar condicionado atual verificou-se que os seguintes documentos estão desatualizados:

- Desenhos "As Built" da CAG,
- Desenhos "As Built" da área das torres de resfriamento,
- Desenhos "As Built" da rede de dutos (com eventuais alterações nos pavimentos),
- Desenhos de layout atualizado dos pavimentos e compatibilidade com a rede de dutos,
- Manual do sistema e dos equipamentos do projeto de alteração.
- O PMOC deve ser revisado para atender aos requisitos de Otimização Energética.

Os demais documentos estão em conformidade com o sistema atual.

3.2 Sistema de distribuição de ar nos pavimentos

3.2.1 Verificação dos circuitos de distribuição de ar

O conceito utilizado no projeto, de vazão constante (VAC) no centro do pavimento e vazão variável (VAV) nas periferias, não é coerente, pois, quando a vazão nas caixas de VAV diminuir haverá um aumento parcial de fluxo de ar nas caixas de VAC (sem controle).

Nos projetos avaliados não aparecem referências quanto à existência de colarinhos para ajuste da vazão de ar dos difusores de insuflação. Para um efetivo balanceamento é necessário que haja meios de ajustar a vazão ponto a ponto.

3.2.2 Verificação dos circuitos de distribuição de ar

Não ocorreram reformas no sistema de distribuição de ar nos ambientes, porém, os ambientes sofreram mudanças de layout. Houve mudanças quanto ao posicionamento de pessoas na área, inclusive com a criação de salas reservadas a reuniões, estúdios e outros, o que muda a característica original de um ambiente único para todo o pavimento.

A não adequação do sistema de distribuição de ar condicionado após mudanças de layout pode gerar desconforto ao usuário, visto que o controle de temperatura do ambiente fica comprometido.

Dos pavimentos selecionados para esta análise, podemos destacar:

a) 2º, 18º e 20º pavimentos: as salas de reuniões podem apresentar desconforto ao usuário, visto que a ocupação não é constante e não há caixas VAV para cada uma destas salas;

b) 20º pavimento: as salas de diretoria podem apresentar desconforto ao usuário, pois a densidade de pessoas é muito diferente dos ambientes adjacentes.

3.2.3 Verificação do dimensionamento do sistema atual

Ar Externo

Considerando a área útil de 1200 m² e a ocupação média de 220 pessoas por pavimento, a recomendação atual da ABNT NBR 16401:2008 parte III, exige uma vazão mínima de ar exterior de 3276 m³/h, com ideal de 5170 m³/h. A tabela 1 apresenta um comparativo entre os valores de projeto atuais por pavimento ocupado e a vazão mínima requerida pela NBR 16401.

Balanço de Ar do Edifício

Considerando o edifício totalmente ocupado, a vazão total de projeto de ar externo, comparada com a vazão total dos sistemas de exaustão, é a seguinte:

Vazão de Ar Externo	84168 m³/h
Vazão de Exaustão	32927 m³/h

Podemos concluir que o edifício se encontra pressurizado com relação à atmosfera.

3.2.4 Verificação da operação com água gelada nas serpentinas

Com a eliminação da solução de etileno glicol do circuito, e com o sistema operando com água gelada entrando a 6,0°C nos fancoils, verifica-se um aumento da capacidade máxima dos fancoils típicos de 142 kW para 161 kW (13%), como pode ser visto na figura 02.

4. Resultados da análise – verificação da instalação

Os equipamentos e as instalações de um modo geral estão instalados conforme os requisitos de projeto e de acordo com os desenhos e especificações técnicas. Os problemas verificados nos condicionadores de ar são típicos da falta de manutenção adequada nos equipamentos e se referem aos aspectos mecânicos e de controle e automação dos componentes. Os problemas verificados devem ser incluídos nas rotinas do PMOC com ações de correções efetivas.

4.1 Central de água gelada

Na tabela 02, um resumo dos desvios encontrados.

4.2 Condicionadores de ar

Na tabela 03, um resumo dos desvios encontrados.

Na avaliação geral das válvulas de 2 vias, considerando que elas já estão no final da vida útil, recomenda-se a substituição de todas elas por válvulas com controle otimizado do consumo de água gelada nos condicionadores de ar. O mesmo pode ser aplicado aos inversores de frequência dos ventiladores.

4.3 Instalação de ar condicionado nos pavimentos

A vazão de ar nas regiões centrais do pavimento soma 35% da vazão total do pavimento, o que é significante para o conforto do usuário nestas áreas, visto que a área central atendida por VACs soma 65% do pavimento. Este conceito prejudica o controle de temperatura do pavimento, pois a maior parte do pavimento teria a vazão constante.

Em todos os pavimentos observados, onde deveriam existir VACs estão instaladas caixas VAV com atuadores, porém, sem controle de vazão. Este dispositivo tem a capacidade de operar como VAV, porém, não está com essa função. Estes atuadores funcionam apenas para abertura ou fechamento total (On/Off), mediante comando manual remoto (forçado). Assim, quando a vazão de ar nas regiões perimetrais diminui (devido ao controle nas VAVs), aumenta a vazão de ar nas regiões centrais dos pavimentos (nas VACs sem controle).

No 2º pavimento foi instalada uma sanca próxima à VAC-77. Isso provocou a retirada de 06 difusores deste dispositivo. A vazão destes difusores retirados deve ser compensada pelos difusores vizinhos.

No 18º pavimento a VAV-162/172 não se encontrava instalada e não foi localizada no pavimento. Neste local há um estúdio não previsto no projeto. Uma sala adjacente, de controle do estúdio, também não prevista em projeto foi instalada.

No 20º pavimento há diferenças significativas comparando-se com o projeto. No pavimento haviam 08 VAVs e 06 VACs enquanto o projeto aponta 14 VAVs e 09 VACs.

O encaminhamento das redes de dutos de todos os pavimentos amostrados está coerente com o projeto.

Observamos, também, em todos os pavimentos, que vários colarinhos/caixas estavam desencaixados das luminárias, passando a insuflar no forro. Isso acarreta na diminuição da temperatura de retorno do ar, mascarando a real necessidade do pavimento.

5. Resultados da análise: verificação de operação

5.1 Central de água gelada

5.1.1 Testes operacionais: bombas

Os resultados dos testes das BAGMs indicam que as bombas apresentam curvas características praticamente iguais à curva de catálogo do fabricante em toda sua extensão. No entanto, as BAGMs não atingiram a vazão de projeto atual do circuito de água gelada (547 m^3/h) pois as válvulas de bloqueio dos fancoils estão muito restringidas. Portanto, será necessário refazer o balanceamento do circuito, mas somente após a instalação de válvulas de balanceamento nos condicionadores de ar, onde será possível realizar o balanceamento adequado e diminuir a perda de carga total da instalação.

Os gráficos 01 e 02 indicam um exemplo dos resultados das curvas características da BAGM-01A obtidas em campo e comparação com os valores de projeto.

As BAC-01B e BAC-01R (que atendem os chillers menores) apresentam curvas características bem abaixo da curva de catálogo do fabricante, principalmente na faixa de operação dos chillers UR-01A/UR-01B. Os resultados finais indicam que as BACs estão fora dos limites de tolerância e operam com um consumo de energia cerca de 20% acima do valor de projeto.

Os gráficos 03 e 04 indicam um exemplo dos resultados das curvas características da BAC-01B obtidas em campo e comparação com os valores de projeto.

As BAGX-01, BAGX-02, BAC-03A e BAC-03R apresentam curvas características praticamente iguais à curva de catálogo do fabricante em toda sua extensão. Os resultados finais indicaram que estas bombas estão operando conforme as características de projeto.

5.1.2 Testes operacionais: torres de resfriamento

Os resultados dos testes operacionais indicam que a TR-03 está com um desempenho praticamente igual ao de projeto com desvio menor que 2%.

No entanto, as torres TR-01 e TR-02 indicam desvios expressivos. Os resultados dos testes operacionais indicam que estas torres estão com um desempenho da ordem de 20% abaixo nas verificações comparativas das torres com a simulação.

Os gráficos 05, 06, 07 e 08 indicam alguns resultados das TR-03, seguidos da TR-02, onde pode-se verificar diferenças no desempenho para um chiller pequeno operando em carga máxima.

Nas análises comparativas, para a máxima capacidade verificou-se que o "approach" na TR-03 está cerca de 1,5ºC menor que as demais. Isto resulta em menor temperatura de entrada no condensador do chiller e reduz o consumo de energia no chiller da ordem de 5%.

Os resultados indicam também que os motores dos ventiladores das

TR-01 e TR-02 (16 kW) são de potência maior que o motor do ventilador da TR-03 (10 kW).

Na análise conjunta chiller + torre de resfriamento, a potência total quando um chiller pequeno opera a plena carga com a TR-03 é de aproximadamente 290 kW. Quando o chiller opera a plena carga com a TR-01 ou TR-02, a potência total é de aproximadamente 309 kW.

Com o edifício funcionando com ocupação plena, estima-se que o consumo anual extra da TR-01 (ou TR-02) seja da ordem de 55 MWh em relação à TR-03. Nas condições atuais, com taxa de ocupação menor no edifício, recomenda-se priorizar o uso da TR-03.

5.2 Sistema de distribuição de ar nos pavimentos

5.2.1 Balancea-mento da rede de distribuição de ar

Conforme verificado em campo, o sistema não se encontra balanceado em nenhum dos pavimentos observados. Porém, há dispositivos de ajustes de vazão (colarinhos) possibilitando que esse balanceamento seja realizado.

No 10º pavimento a vazão total do equipamento ficou 41% abaixo do valor de projeto. A rotação do ventilador está insuficiente devido ao escorregamento das correias nas polias, cujo ruído pode ser observado em campo.

Também o damper corta-fogo do duto de ar externo permaneceu fechado, mesmo após o acionamento do fancoil. Isso prejudica a renovação do ar do pavimento, podendo afetar a saúde dos usuários.

No 18º pavimento a vazão total do equipamento ficou 27% abaixo do valor de projeto.

Tabela 02 - Central de Água Gelada - Resumo dos desvios encontrados

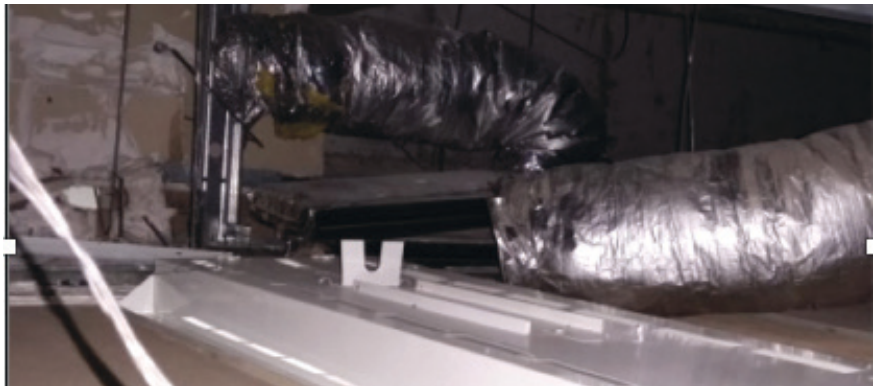
Equipamento	Desvio	Correção	Atividade
BAGM-01	Vibração excessiva	Revisão Geral	Manutenção Mecânica
UR-01A	Atuador - Válvula Motorizada	Substituição	Manutenção Elétrica
UR-01B	Atuador - Válvula Motorizada	Substituição	Manutenção Elétrica
TR-01	Atuador - Válvula Motorizada	Substituição	Manutenção Elétrica
TR-02	Atuador - Válvula Motorizada	Substituição	Manutenção Elétrica
Filtros - Geral	Sujeira no circuito de água gelada	Rotina PMOC	Manutenção Mecânica
Medidor de Vazão FE-01	Leitura errada no sistema supervisório	Verificar controladora	Manutenção de Automação
Purgadores de Ar	Não instalados	Instalar purgadores	Instalação Mecânica

Divulgação

Foto 05 - Sistema de purga de ar manual improvisada

Tabela 03 - Condicionadores de Ar - Resumo dos desvios encontrados

Desvio	Equipamentos	Correção	Atividade
Sujeira nos filtros de água gelada	Geral	Rotina PMOC	Manutenção Mecânica
Isolamento térmico da tubulação	Geral	Substituição	Instalação Mecânica
Válvula de 2 vias/Atuadores	16 fancoils	Revisão Geral/ Substituição	Manutenção Mecânica/Elétrica/ Automação
Inversor de frequência	13 fancoils	Revisão Geral/ Substituição	Manutenção Elétrica/Automação



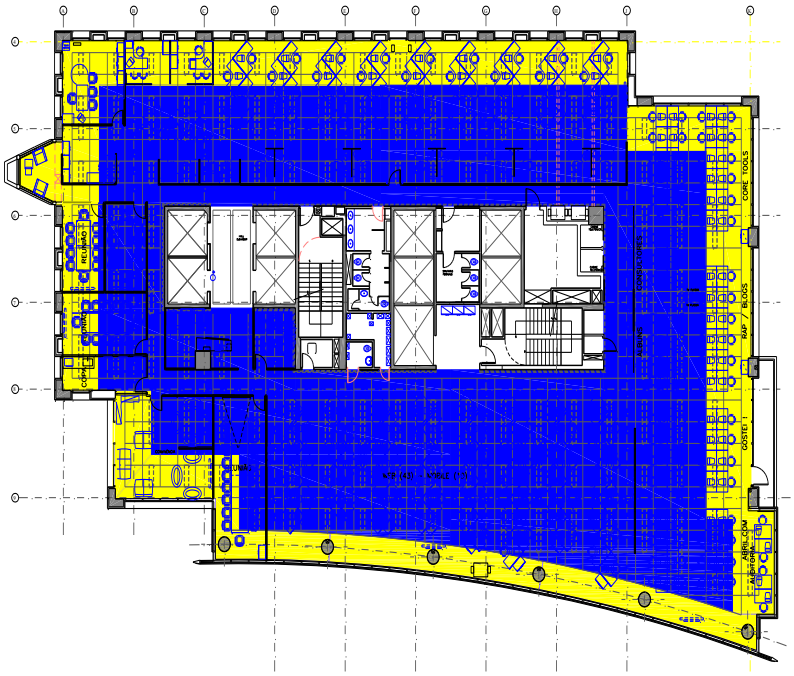
Divulgação

Foto 06 - Duto desencaixado do troffer na luminária com ar insuflado no forro

Divulgação

Foto 07 - Fitas adesivas colocadas pelos usuários bloqueando o fluxo de ar nos difusores.

Figura 03 – Posições das caixas de VAV e VAC no pavimento e as áreas atendidas pelas VAVs (amarelo) e VACs (azul).



No 20º pavimento a vazão total do equipamento ficou 44% abaixo do valor de projeto.

Também foi verificado que em alguns pavimentos, para a melhoria do conforto do usuário, algumas caixas de difusão se encontravam desencaixadas dos difusores. Isso afeta todo o sistema, visto que há uma mistura do ar com o retorno, afetando o desempenho do condicionador de ar.

Além disso, alguns difusores foram bloqueados com fitas adesivas pelos usuários, como evidenciado na foto 07.

5.2.2 Testes operacionais : VAVs e VACs

Nos pavimentos verificados, as caixas VAC somente abriam-se ou fechavam-se totalmente e a vazão era resultante da pressão de insuflação do fancoil; quanto maior a pressão de insuflação, maior a vazão nesses dispositivos.

No 2º pavimento apenas 6 VAVs estavam atuando em conformidade com o definido em projeto. As outras quatro não modulavam quando alterados os valores de *setpoint*.

No 10º pavimento todas as VAVs estavam atuando em conformidade com o definido em projeto.

No 18º pavimento as VAVs estavam atuando em conformidade, com exceção da VAV 168/178 (VAV-04).

No 20º pavimento apenas 3 VAVs das 8 instaladas estavam operando em conformidade.

5.2.3 Testes operacionais: condicionadores de ar

O fancoil do 2º pavimento estava atuando corretamente. A válvula de água gelada controlando corretamente a temperatura de insuflação e o inversor de frequência atuando conforme alteração do *setpoint* de pressão. Porém, o fancoil não respondeu aos comandos de ligar ou desligar pelo supervisório.

O fancoil do 10º pavimento apenas apresentou resultado em conformidade para o controle de temperatura. O inversor de frequência não estava se comunicando com o sistema supervisório.

O fancoil do 18º pavimento apresentou resposta em conformidade para a modulação da válvula de água gelada para os comandos de ligar e desligar e ao controle da pressão de insuflação.

O fancoil do 20º pavimento respondeu corretamente aos comandos de liga e desliga e ao controle da válvula de água gelada, e ao controle da pressão de insuflação.

6. Resultados da análise: verificação de desempenho

6.1 Teste de desempenho dos chillers

Foram realizados os testes dos chillers UR-01B e UR-03. O UR-1A estava avariado. Os resultados indicam que o UR-01B está bem deficiente, conforme já indicava o relatório de análise de desempenho realizada anteriormente (em julho de 2012). Os gráficos de 09 a 12 indicam os resultados obtidos.

A seguir um resumo dos valores verificados nos gráficos de 09 a 12:

A partir das 16:00 o UR-01B atinge sua máxima carga, ou seja, atinge 100% da corrente nominal do motor (FLA).

Neste período, o chiller opera com temperatura de saída de água gelada em torno de 6,0ºC (valor um pouco acima do *setpoint* de projeto, o que indica uma condição favorável).

A temperatura de entrada de água no condensador está abaixo de 29,0ºC, o que também indica uma condição favorável.

Nestas condições, o chiller atinge em torno de 80% da capacidade nominal, porém, este é o limite do equipamento.

Gráfico 01 - BAGM-01A - Curva Característica

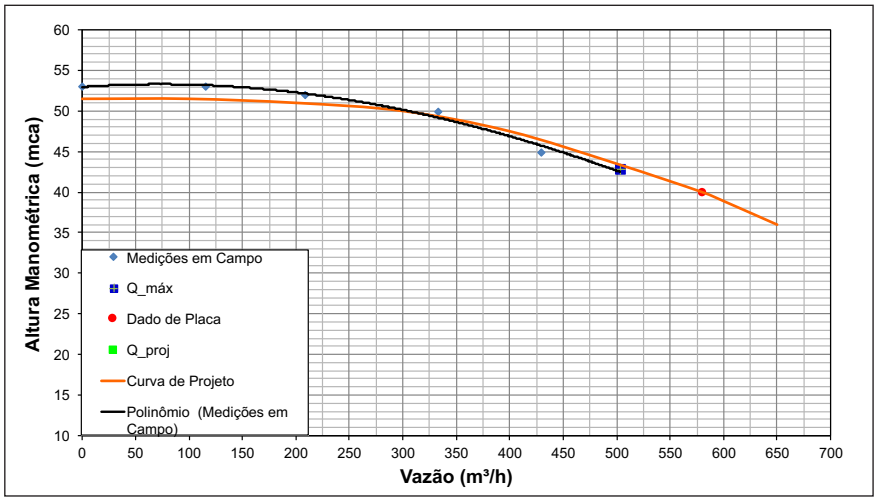


Gráfico 02 - BAGM-01A - Eficiência

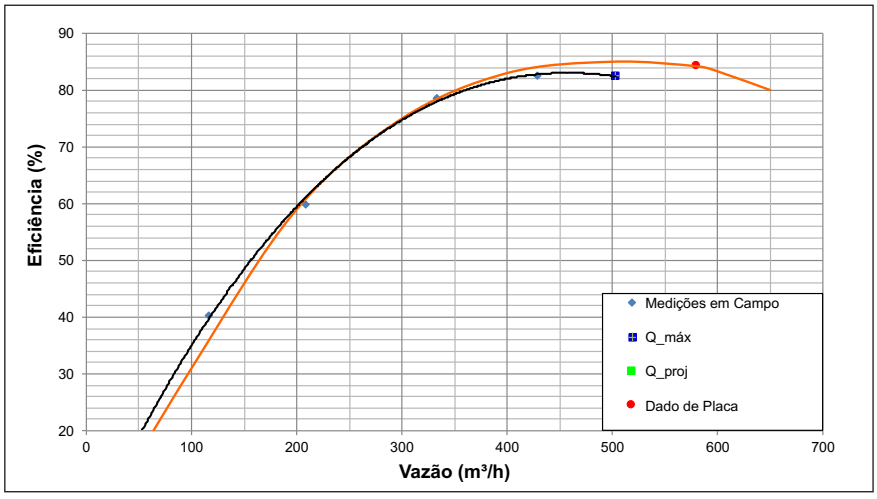


Gráfico 03 - BAC-01B - Curva Característica

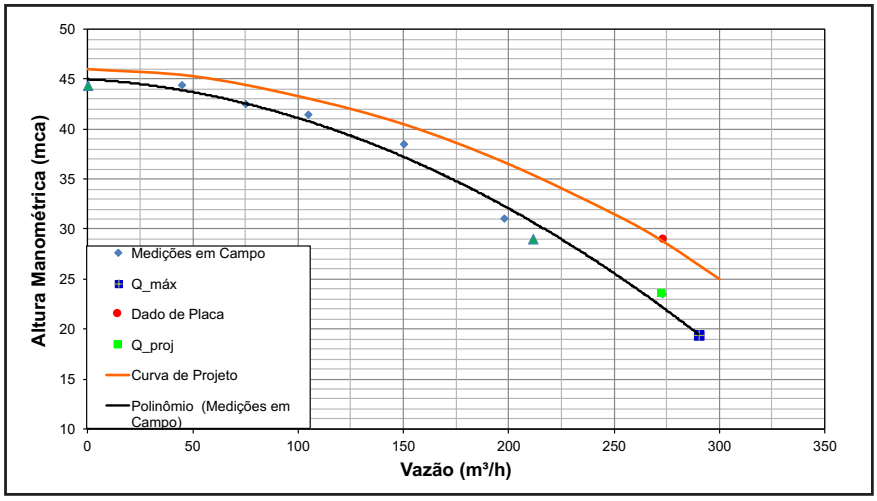


Gráfico 04 - BAC-01B - Eficiência

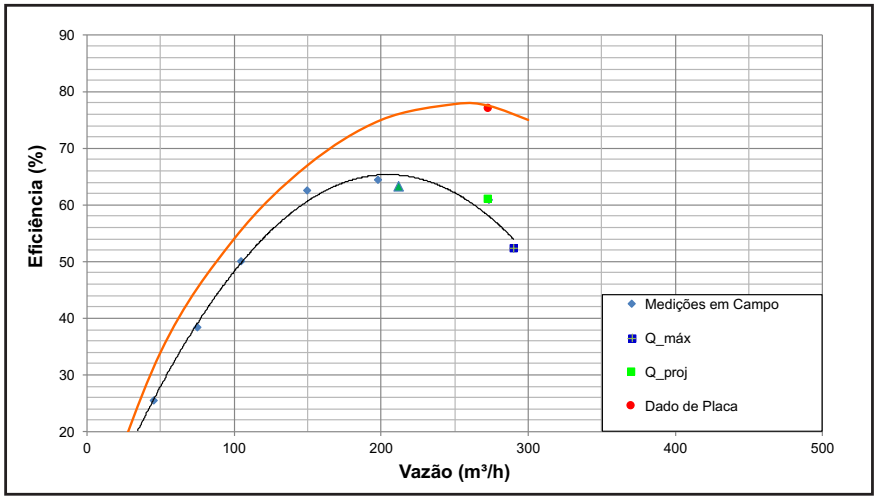


Gráfico 05 - TR-03 - "Approach" da Torre

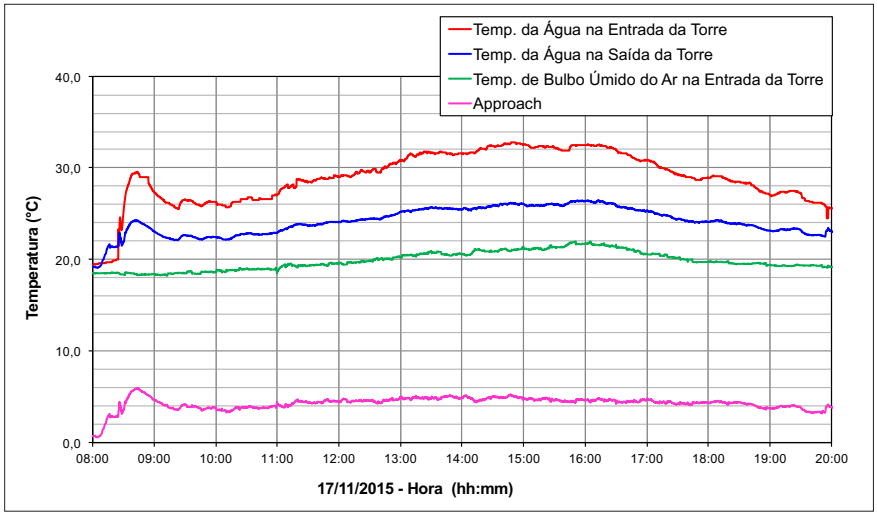
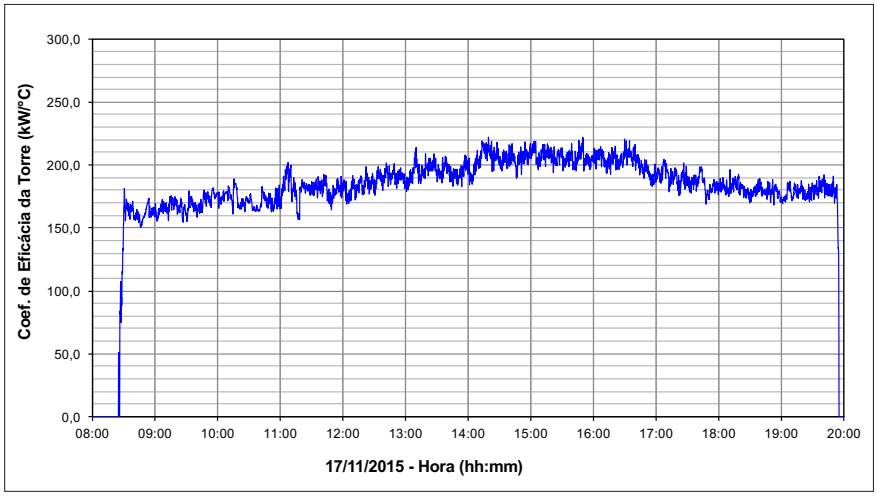


Gráfico 06 - TR-03 - Coeficiente de Eficácia da Torre (K.a)



Finalmente, o COP verificado nestas condições é de aproximadamente 4,05 kW/kW, menor valor que o verificado no relatório anterior (4,26 kW/kW).

Quanto ao chiller UR-03, os resultados indicam que ele opera com um desempenho praticamente igual às condições de projeto. Os gráficos de números 13, 14, 15 e 16 indicam os resultados obtidos.

A seguir um resumo dos valores verificados nos gráficos de 13 a 16:

A partir das 11:00 o UR-03 atinge o valor do *setpoint* de controle de temperatura da água gelada.

O chiller não atinge a condição de carga máxima em nenhum momento, mas diferente do UR-01B, a curva da porcentagem de capacidade está sempre acima da curva de porcentagem da corrente nominal do motor (FLA), indicando que o chiller opera com desempenho superior.

Nesse período o chiller opera com temperatura de saída da água gelada em torno do valor de *setpoint* de projeto inicial (5,5ºC).

A temperatura de entrada da água no condensador está muito próxima do valor de projeto para este equipamento (27,7ºC) à condição de máxima carga. É importante observar que na composição do NPLV, as temperaturas de referência são mais baixas quando o chiller opera em carga parcial.

Nestas condições, o chiller atinge uma capacidade em torno de 85% a 90% da capacidade nominal, com a corrente sempre menor, entre 75% e 80%. Finalmente, o COP verificado nessas condições é de aproximadamente 6,15 kW/kW, valor maior que o de projeto operando em condições similares (5,92 kW/kW).

Comparando o desempenho dos chillers, recomenda-se priorizar a operação do UR-03, mesmo em carga parcial. Atualmente, o UR-01B deveria entrar em opera-

ção apenas quando o UR-03 estivesse operando com carga inferior a 35% (925 kW).

6.2 Teste de desempenho funcional da central de água gelada em modo automático

Não foi possível realizar o teste de desempenho funcional da CAG operando em modo automático, controlado totalmente pelo sistema de automação.

Atualmente, o sistema opera em modo manual, em remoto apenas, com algumas manobras operacionais necessariamente realizadas manualmente em campo. As principais causas da operação manual são as seguintes:

- A válvula motorizada de bloqueio de fluxo de água gelada do UR-01B está com o atuador avariado; para funcionamento e parada do UR-01B é necessário realizar a abertura ou o fechamento da válvula manualmente em campo.

- As válvulas motorizadas de bloqueio de fluxo de água de resfriamento das torres de resfriamento TR-01 e TR-02 estão avariadas. Para evitar mais manobras, foi realizado um ajuste para que a válvula da TR-02 permaneça sempre aberta e a válvula da TR-01 permaneça sempre fechada. Com a operação do UR-01B, funciona apenas a TR-02. Se necessário operar o UR-03 (que necessita de 2 torres), então é acionada automaticamente a válvula motorizada da TR-03 que opera normalmente. Em caso de falha em uma das torres, é necessário acionar o operador para realizar a manobra manual em campo.

- O sistema inicia a operação com o chiller UR-01B. Durante o dia, a equipe de operação do sistema de automação monitora o funcionamento do chiller e, caso atinja a máxima carga, com a temperatura de saída de água gelada superior a

Gráfico 07 - TR-02 - "Approach" da Torre

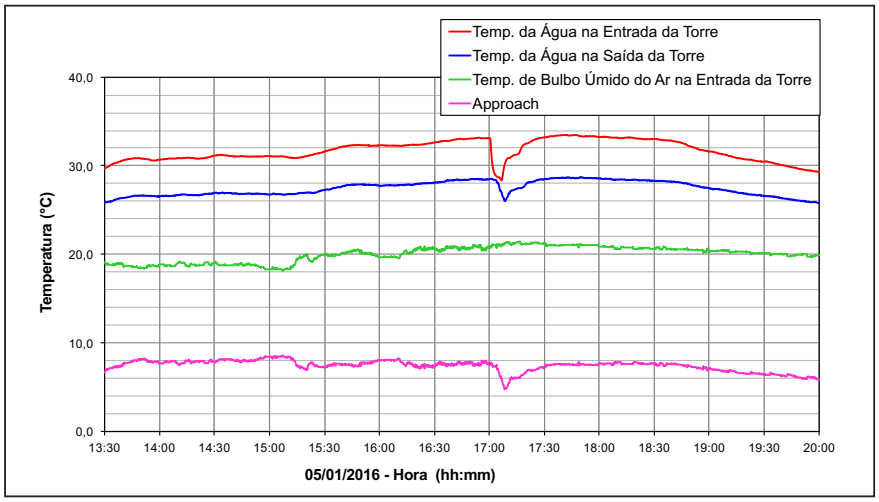


Gráfico 08 - TR-02 - Coeficiente de Eficácia da Torre (K.A)

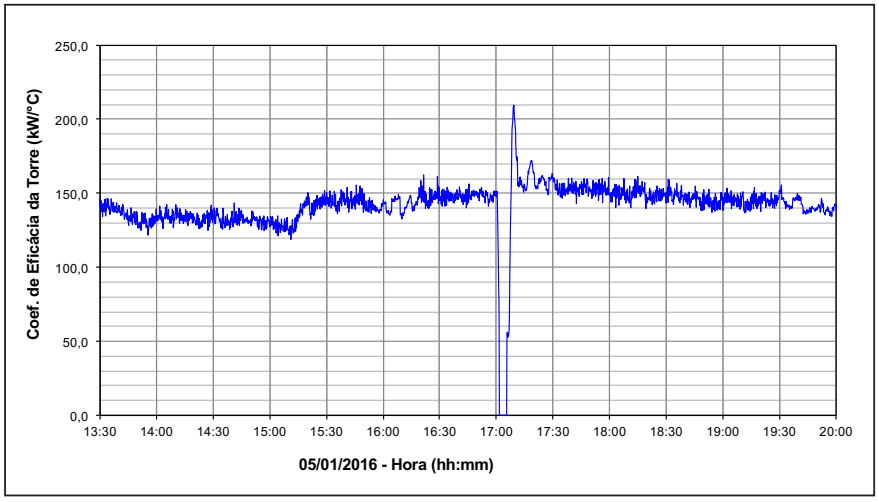


Gráfico 09 - Chiller UR-01B - Temperatura da Água Gelada

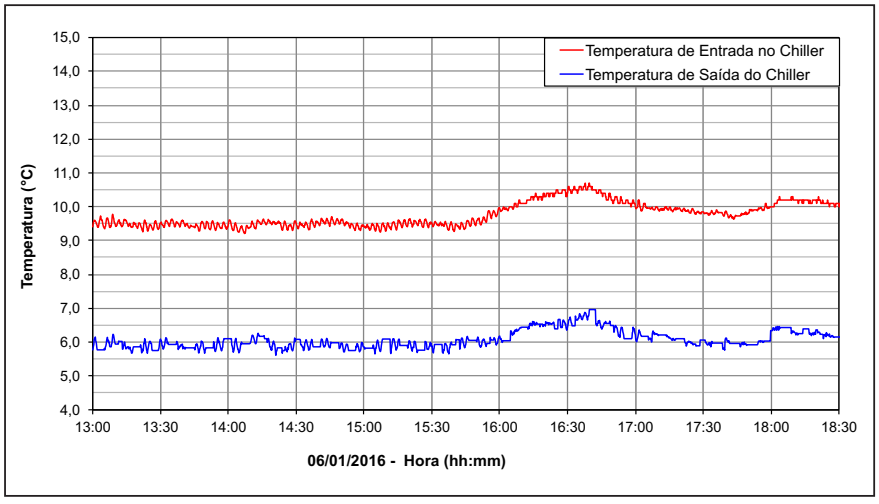


Gráfico 10 - Chiller UR-01B - Temperatura da Água de Resfriamento

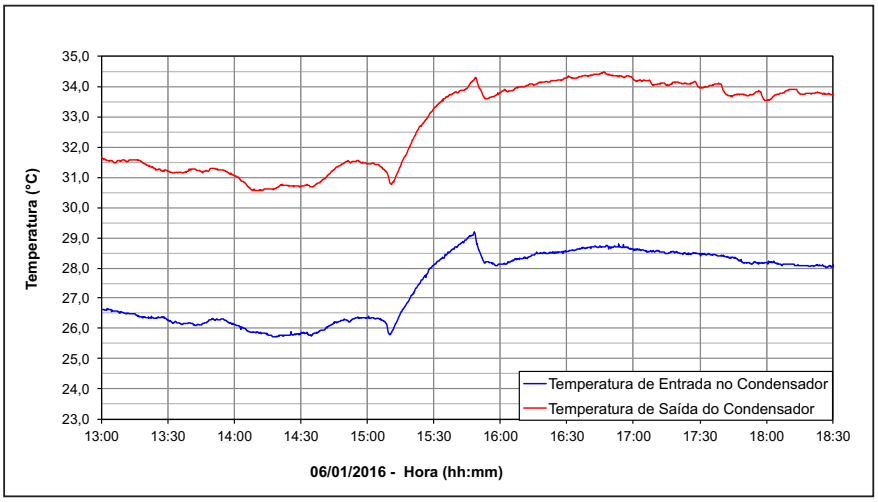


Gráfico 11 - Chiller UR-01B - Carga Parcial

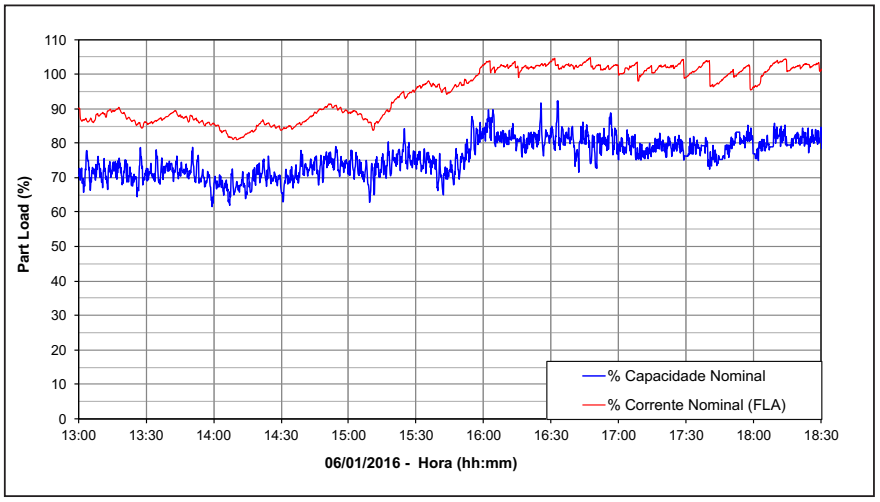
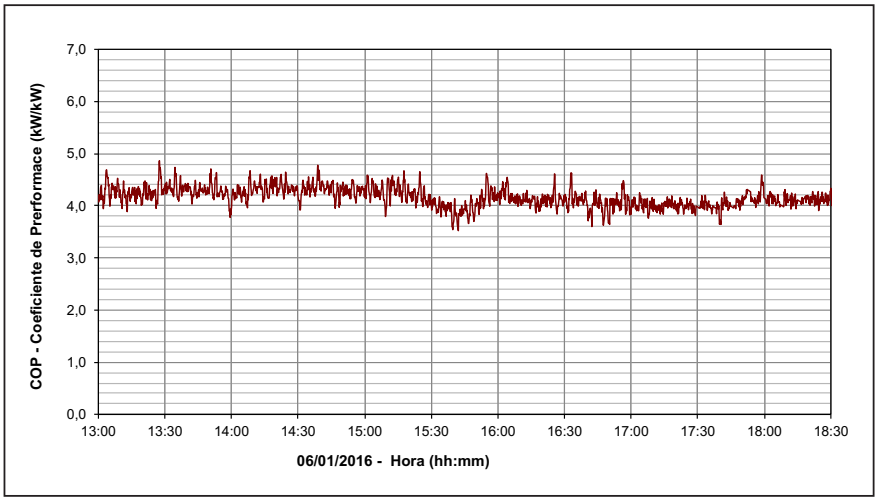


Gráfico 12 - Chiller UR-01B - Eficiência Energética



6,0ºC, então será solicitada a parada do UR-01B (com o fechamento manual da válvula de bloqueio) e acionada a partida do UR-03. Na prática, não há um controle visual adequado e é comum verificar o UR-01B operando em 100% da carga, com temperatura de água gelada superior a 7,5ºC.

Durante o teste foi possível verificar ainda os seguintes desvios em relação ao memorial descritivo do projeto do sistema de automação:

- O medidor de vazão FE-01 apresenta um valor fixo de 23,8 m³/h na tela do sistema supervisório. No display do instrumento de campo, o valor estava correto (em torno de 250 m³/h). Portanto, deve-se verificar na controladora, ou na conversão de valores para o sistema supervisório, onde está o erro e corrigir.
- Os medidores de vazão acoplados às válvulas de balanceamento deverão ser novamente aferidos, pois foram verificados desvios de vazão nos chillers.
- O sensor de temperatura TE-04 (retorno da água gelada dos condicionadores de ar) está em falha.
- O sensor de pressão diferencial que controla a vazão de água gelada do sistema não está funcionando adequadamente, e notoriamente opera com sobre pressão.
- As telas específicas dos chillers estão desativadas no sistema supervisório.
- Os cálculos da capacidade de cada chiller e total da CAG e os cálculos de COP de cada chiller e da CAG não estão disponibilizados nas telas do sistema supervisório.

6.3 Teste de desempenho funcional do sistema de distribuição de ar nos pavimentos em modo automático

Foram realizados os seguintes testes funcionais realizados no sistema

de distribuição de ar nos pavimentos:

Verificação dos Sensores

Poucos sensores de VAVs apresentaram desvios em suas leituras. Apenas o sensor da VAV-02 do 2º pavimento não estava comunicando. Uma calibração e ajustes dos outros sensores trarão um resultado satisfatório.

Verificação de Desemprenho Funcional dos Fancoils

Nenhum dos fancoils observados possuía o relé de corrente. Além disso, nenhum dos sensores de pressão para indicação da saturação dos filtros dos fancoils estava operando.

No 2º, 18º e 20º pavimentos os outros resultados esperados foram positivos, os inversores de frequência responderam conforme esperado.

No 10º pavimento o inversor não se comunicava com o sistema supervisório e seus resultados foram todos insatisfatórios.

7.0 Resultados da investigação e análise do sistema

A seguir um resumo dos principais problemas encontrados e as recomendações de ações de correção do sistema, que impactarão na eficiência energética do sistema e na melhoria do controle de temperatura dos ambientes condicionados e, por consequência, no conforto dos usuários dos pavimentos.

7.1 Sistema de água gelada

Os principais problemas verificados no sistema de água gelada foram os seguintes:

- Documentação de projeto desatualizada, incluindo desenhos e manuais de equipamentos com características de operação de projeto. Recomenda-se que durante o projeto de substituição dos chillers UR-01A e UR-01B a empresa contratada realize a atualização dos documentos do projeto.

- Vibração excessiva na bomba de água gelada BAGM-01. Será necessária uma revisão geral na bomba abrangendo verificações internas, motor elétrico, alinhamento do conjunto moto-bomba e base do skid.

- Os atuadores das válvulas motorizadas dos chillers UR-01A e UR-01B e das torres de resfriamento TR-01 e TR-02 estão avariados e precisam ser substituídos. Recomenda-se incluir a substituição dos atuadores no projeto de substituição dos chillers.

- Verificou-se que várias válvulas de 2 vias para controle de vazão da água gelada nos condicionadores de ar apresentam problemas de mau funcionamento ou estão avariadas. Estas válvulas deverão ser incluídas no PMOC para correção dos problemas. Outra alternativa seria a substituição de todas as válvulas de 2 vias atuais (que já estão no final de sua vida útil) por válvulas com controle otimizado do consumo de água gelada nos condicionadores de ar.

- Verificou-se também que vários inversores de frequência dos ventiladores dos condicionadores de ar apresentam algum tipo de problema. A revisão geral dos inversores deve ser incluída na rotina do PMOC. Recomenda-se ainda um programa de substituição dos inversores.

- O sistema de purga de ar manual no circuito de água gelada é precário e precisa ser substituído por um sistema de purga automática.

- Os condicionadores de ar não possuem válvulas de balanceamento e o sistema opera com vazão total abaixo do projeto. É altamente recomendável a instalação de válvulas de balanceamento de água gelada para garantir a estabilidade operacional do circuito e possibilitar o ajuste de vazão adequado nos condicionadores.

- As bombas de água de condensação BAC-01A/B/R apresentam um desempenho muito abaixo dos valores de projeto e com consumo de energia excessivo. Recomenda-se a substituição destas bombas no projeto de substituição dos chillers.

- As torres de resfriamento TR-01 e TR-02 apresentam baixo desempenho e afetam o desempenho dos chillers. O resultado geral é de cerca de 5% de consumo excessivo na CAG. Recomenda-se, ainda, uma revisão geral nas torres TR-01 e TR-02 e substituição do enchimento, além de uma análise do ventilador. Outra opção seria a substituição por novas torres, mantendo apenas os gabinetes das existentes.

- O chiller UR-01A está avariado e deve ser substituído.

- O chiller UR-01B está com o desempenho ainda menor que o último teste (realizado em 2012), com COP de 4,05 kW/kW para 100% de carga em condições de projeto. Os testes confirmam a viabilidade do projeto de substituição dos chillers, que resultará em um ganho de eficiência energética no sistema de água gelada superior a 50%.

- O sistema de automação está deficiente e não é possível operar em automático. As principais limitações são resultantes dos problemas elétricos dos atuadores das válvulas de bloqueio dos chillers e torres de resfriamento. Após a substituição dos atuadores será necessário realizar algumas correções no sistema supervisório e controladoras, habilitar telas específicas dos chillers, e incluir os cálculos para a monitoração da eficiência dos chillers e da CAG.

Gráfico 13 -Chiller UR-03 - Temperatura da Água Gelada

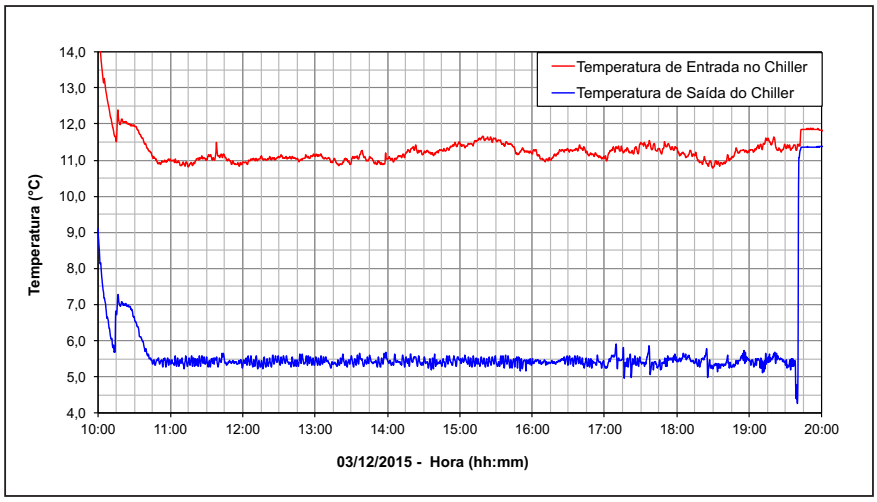


Gráfico 14 - Chiller UR-13 - Temperatura da Água de Resfriamento

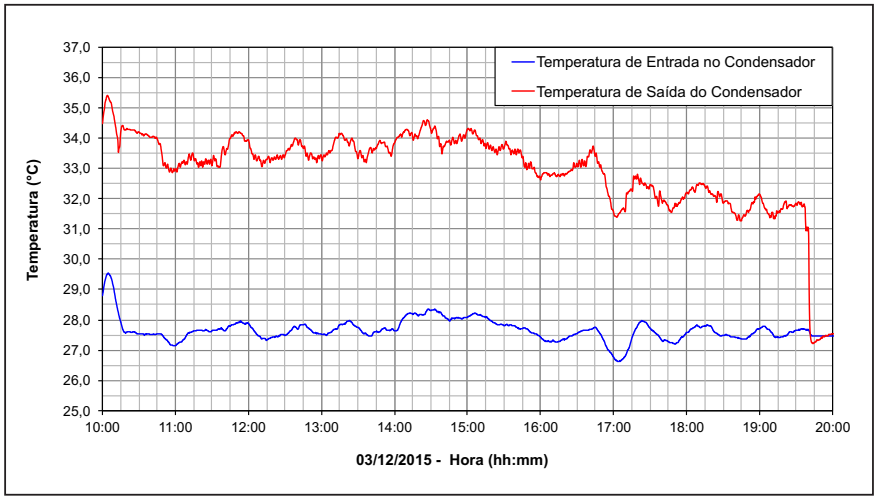
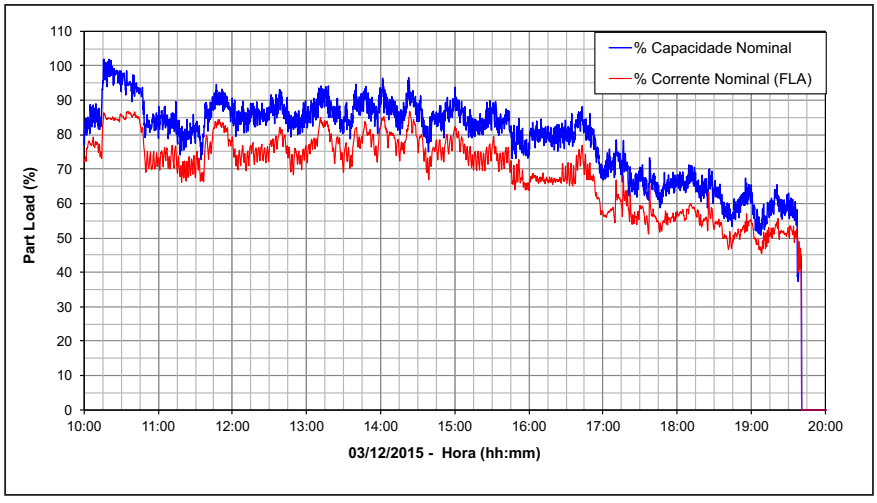


Gráfico 15 - Chiller UR-03 - Carga Parcial



7.2 Sistema de distribuição de ar nos pavimentos

- A aplicação das VACs no projeto inicial (provavelmente resultante de corte de custos de investimentos) implicou em um problema operacional que resulta em desconforto térmico a muitos usuários. Recomenda-se a alteração do sistema de controle de distribuição de ar, substituindo todas as caixas VAC por caixas VAV.

- Muitos pavimentos encontram-se com o sistema de distribuição de ar inadequado ao layout atual de ocupação. Será necessária uma readequação do sistema de distribuição de ar em cada pavimento para atender o respectivo layout atual de ocupação, com a atualização dos projetos como construído. Também será necessário elaborar um documento com o mapeamento de caixas VAV, condizente com o layout atual de ocupação do pavimento, para facilitar a identificação de possíveis problemas operacionais do sistema de controle. Recomenda-se que estes mapas sejam incorporados nas telas do sistema supervisório.

- Vários sensores de temperatura de ambiente apresentaram desvios de leitura maiores do que 1.0ºC. Deve ser incorporada ao PMOC uma rotina de calibração dos sensores de temperatura de todo sistema de automação.

- Alguns pavimentos estão com os sistemas de distribuição de ar desbalanceados, muitos deles resultantes de alteração de layout de ocupação. Recomenda-se a implantação de um programa de testes, ajustes e balanceamento do sistema de distribuição de ar, com definição dos novos *setpoints* do sistema de controle de temperatura dos pavimentos através de ensaio funcional do sistema de distribuição de ar. Também deverão ser verificados os colarinhos/caixas que estão desco-

nectados e recolocados em suas posições nas luminárias para correta insuflação do ar.

- Finalmente, recomenda-se a elaboração do Manual de Operação do sistema de ar condicionado que descreva o funcionamento correto do sistema, os *setpoints* atuais, as capacidades dos condicionadores, a especificação dos componentes de controle e os procedimentos operacionais e de manutenção.

8.0 Oportunidades de melhorias no sistema

Além dos problemas verificados, foram ainda verificadas algumas oportunidades de melhorias no sistema atual.

8.1 Substituição dos chillers antigos com HCFC-22

Considerando que o sistema de termoacumulação de gelo foi desativado e os chillers antigos com HCFC-22 estão no final de sua vida útil e com baixo desempenho verificado, recomenda-se a substituição destes por chillers com compressores centrífugos, de alta eficiência, para operar nas mesmas condições do UR-03, recentemente instalado.

Com a instalação dos novos chillers haverá apenas um circuito de água gelada, com alta eficiência, e mesmo com o funcionamento dos chillers no horário de ponta, o novo sistema será mais eficiente e de menor custo de manutenção que o sistema atual.

Na tabela 04, temos os resultados de capacidade máxima e eficiência do novo sistema, comparados com o sistema atual.

8.2 Sistema dedicado de resfriamento de ar externo (DOAS)

Outra melhoria será a instalação de um sistema dedicado de resfriamento do ar externo (DOAS), com

Gráfico 16 - Chiller UR-03 - Eficiência Energética

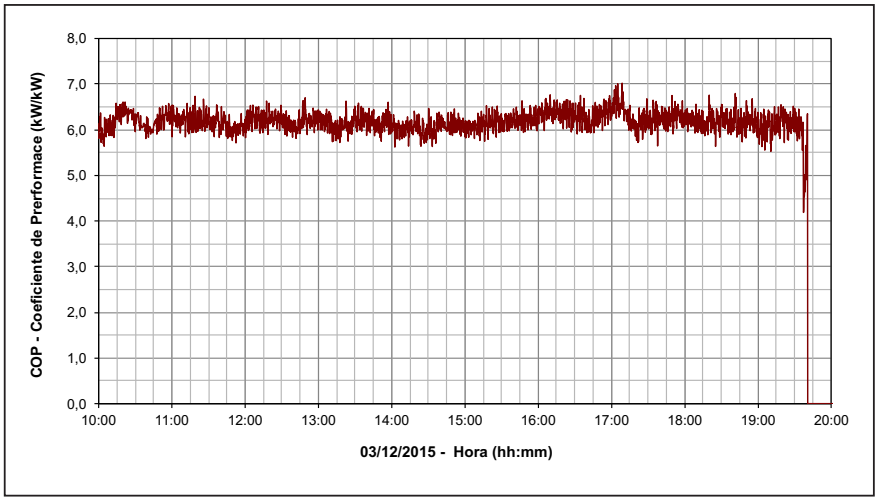


Tabela 04 - Resultados de capacidade máxima e eficiência do novo sistema, comparados com o sistema atual

		Sistema em 07-2012	Sistema Atual Real (12/2015)	Retrofit - Chillers com HCFC-22
Capacidade máxima do sistema	kW	3133	3773	4063
	ton	891	1073	1156
Capacidade máxima dos chillers	kW	2358	3773	4063
	ton	671	1073	1156
Potência absorvida - chillers	kW	554	737	687
Potência absorvida – TOTAL (incluindo bombas e torres)	kW	752	921	849
COP – TOTAL da CAG	kW/kW	2,815	4,097	4,786
COP CHILLERS UR-01A/B	kW/kW	4,256	4,050	5,910

Tabela 05 - Rresultados de capacidade máxima e eficiência do novo sistema, comparados com o sistema atual

		Sistema em 07-2012	Sistema Atual	Retrofit Chillers	Sistema DOAS
Capacidade máxima do sistema	kW	3133	3825	4063	4063
	ton	891	1088	1156	1156
Capacidade máxima dos chillers	kW	2358	3825	4063	4063
	ton	671	1088	1156	1156
Potência absorvida - chillers	kW	554	723	687	623
Potência absorvida – TOTAL (incluindo bombas e torres)	kW	752	904	849	799
COP – TOTAL da CAG	kW/kW	2,815	4,231	4,786	5,086

Tabela 06 - Sistema de Água Gelada

Proposta de solução	Objetivos/Resultados	Estimativa de custos
Substituição dos atuadores das válvulas de bloqueio motorizadas dos UR-01A/UR-01B e TR-01/TR-02	Eliminar o problema e permitir o funcionamento otimizado da CAG sob o controle da automação	Incluso na obra de substituição dos chillers - UR-01A/UR-01B
Substituição das BACs-01A/01B/01R que atendem os chillers menores	Redução do consumo de energia na CAG da ordem de 2%	Incluso na obra de substituição dos chillers - UR-01A/UR-01B
Revisão de lógicas do sistema de automação, habilitação das telas dos chillers. Habilitação de telas de trends e benchmarks da CAG	Permitir controle adequado na CAG e monitorar a eficiência do sistema	Custo de manutenção do sistema de automação
Prover documentação de projeto adequada	Controle de engenharia sobre o sistema existente.	R$ 35.000,00
Realizar uma revisão geral na BAGM-01. Como opção verificar o custo de substituição da bomba	Eliminar o problema e permitir o funcionamento normal da bomba.	R$ 7.000,00
Substituição das válvulas de 2 vias de controle de vazão de água gelada nos *fan coil*s avariadas ou com mau funcionamento (42%), por válvulas inteligentes com controle e monitoração de consumo de energia	Permitir controle adequado nos fancoils e redução do consumo de energia na CAG da ordem de 3%. Melhoria no conforto do usuário	Substituição total R$ 70.000,00 Custo por pavimento: R$ 2.700,00
Instalação das válvulas de balanceamento nos fancoils	Redução do consumo de energia das BAGMs da ordem de 7%. Possibilidade de controlar o circuito secundário.	Custo Total: R$ 50.000,00 Custo por pavimento: R$ 1.900,00
Incluir no PMOC um plano de revisão geral e contínuo dos inversores de frequência dos ventiladores dos fancoils. Como opção, substituir os inversores (17 anos)	Permitir controle adequado nos fancoils e redução do consumo de energia na CAG da ordem de 3%. Melhoria no conforto do usuário.	Substituição Total R$ 170.000,00 Custo por Pavimento Típico R$ 5.000,00
Instalação de um sistema de purga automático no circuito de água gelada	Eliminar excesso de ar e problemas de corrosão	R$ 23.000,00
Revisão geral nas torres TR-01 e TR-02 e substituição do enchimento, além de uma análise do ventilador ou substituição das torres.	Redução do consumo de energia na CAG da ordem de 5%. Redução no consumo de água das torres.	Substituição Total R$ 190.000,00

Tabela 07 - Sistema de Distribuição de Ar nos Pavimentos

Proposta de solução	Objetivos/Resultados	Estimativa de custos
Substituição de todas as caixas VAC por caixas VAV	Controlar a temperatura dos ambientes.	R$ 200.000,00
Elaboração de projeto especifico para cada pavimento com adequação do sistema de ar condicionado ao layout atual e posterior instalação das alterações	Controlar a temperatura dos ambientes	Depende de cada pavimento
Calibração dos sensores de temperatura que apresentaram desvios maiores do que 1.0ºC	Controlar a temperatura dos ambientes	Depende de cada pavimento
Execução dos ajustes e balanceamento na rede de distribuição de ar nos pavimentos, após as correções das VAVs e de layout	Controlar a temperatura dos ambientes	R$ 11.000,00 por pavimento
Durante a execução do TAB, fazer o teste funcional para definição dos *setpoints*; inserir estes *setpoints* no manual de operação do sistema	Controlar a temperatura dos ambientes	Incluso no custo do TAB
Prover documentação adequada que faz parte do manual de operação, e atualizar à medida que novas reformas forem executadas	Controle de engenharia sobre o sistema existente	Depende de cada pavimento. Pode ser elaborado pelas equipes de operação/ manutenção
Elaborar o manual de operação do sistema	Treinar novos operadores, manter um controle de alterações de *setpoints* e controlar a operação do sistema.	R$ 17.000,00

um condicionador de ar dedicado para o resfriamento da parcela de ar externo (de renovação).

A utilização do princípio de ar externo dedicado (DOAS) irá prover uma folga de capacidade nos fancoils dos pavimentos, pois o fancoil de ar externo fica encarregado de retirar a maior parcela de calor latente.

O fancoil DOAS deverá ter capacidade de resfriar o ar externo na vazão atual, ou seja, 81875 m³/h.

A capacidade total de fancoils é 3973 kW, considerando um fator de calor sensível médio de 0,83 teremos uma necessidade de retirada de calor latente de 676 kW (192 ton).

Para 99% das horas do ano, temos uma temperatura máxima de bulbo seco de 31,0°C, com temperatura de bulbo úmido de 20,4°C. Para a vazão total de ar externo e a temperatura de alimentação de água gelada de 6,0°C, haverá um fancoil de DOAS com capacidade total de 1000 kW (284 ton), sendo 382 kW (109 ton) de calor latente.

Isso supriria 57% da capacidade latente necessária, reduzindo a carga dos fancoils dos pavimentos, que passarão a possuir uma folga em sua capacidade.

O duto de ar externo possui dimensões limitadas e, portanto, não há a possibilidade aumentar significantemente a vazão do ar externo.

8.3 Chiller para sistema dedicado de resfriamento de ar externo (DOAS)

Além dos benefícios da melhoria da qualidade do ar nos ambientes climatizados este conceito resultará em uma pequena alteração no sistema de água gelada que permitirá um ganho de eficiência ainda maior no sistema em relação ao obtido na substituição dos chillers antigos.

Nas tabelas 04 e 05, os resultados de capacidade máxima e eficiência do novo sistema, comparados com o sistema atual.

9.0 Plano de ação de correções

Nas tabelas 06 e 07, planilhas com resumo do plano de ações de correção e os custos de investimento estimados.

10.0 Conclusões

Após a investigação estruturada e sistematizada do sistema de ar condicionado do Edifício 01, foram identificados vários problemas de projeto, instalação, operação e manutenção do sistema que afetam o conforto ambiental e a eficiência energética do sistema.

Os resultados foram apresentados aos representantes dos proprietários e às equipes de administração, operação e manutenção do condomínio, que após entendimento dos resultados e benefícios, decidiram que o plano de ação será completamente implantado, em um prazo estimado de 18 meses.

Execução

SOMAR

Implementação

PNUD

Empoderando vidas. Fortalecendo nações.

Realização

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

BRASIL GOVERNO FEDERAL

Leonilton Tomaz Cleto
engenheiro mecânico, diretor da Yawatz Engenharia

Maurício Salomão Rodrigues
engenheiro mecânico, diretor da Somar Engenharia