



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica  
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro  
Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

<b>Rubens Leme Filho</b>	<b>Fernando Luiz Britto Bacellar</b>
<b>AES Eletropaulo Metropolitana - Eletr. de São Paulo S.A.</b>	<b>AES Eletropaulo Metropolitana - Eletr. de São Paulo S.A.</b>
rubens.leme@aes.com	fernando.bacellar@aes.com

**Projeto de Eficiência Energética em Sistema de Ar Condicionado - Aplicação do PIMVP**

**Palavras-chave**

Ar Condicionado  
Eficiência  
Medição  
PIMVP  
Verificação

**Resumo**

**Projeto de Eficiência Energética executado no Hospital do Servidor Público Estadual contemplou a Central de Água Gelada - CAG do sistema de ar condicionado central.**

**O sistema de ar condicionado central não atende o complexo hospitalar inteiro, mas importantes setores dependem deste sistema, tais como: UTI, Centro Cirúrgico e Laboratórios.**

**Foi investido no projeto R\$ 1,5 milhões para a modernização completa dos equipamentos que compõem a CAG, incluindo reforma civil, hidráulica e elétrica. O projeto, além da confiabilidade do sistema e redução dos custos com manutenção, ainda proporcionou economia de energia anual equivalente a mais R\$ 300 mil.**

**À luz do Manual Para Elaboração do Programa de Eficiência Energética, bem como as melhores práticas abordadas no Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance foi implementado um plano de Medição e Verificação - M&V onde se avaliou dados de catálogo dos equipamentos, entrevistas com os operadores do sistema e medições de campo.**

**O projeto foi implementado com investimentos a fundo perdido. Desta forma, tal plano de M&V foi elaborado com o objetivo de demonstrar que a Relação Custo Benefício – RCB do projeto está adequada às determinações da Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica.**

## 1. Introdução

A AES Eletropaulo intensificou a aplicação dos recursos destinados aos Projetos de Eficiência Energética - PEE no desenvolvimento de projetos junto aos clientes do poder público, atuando em grande parte nos usos finais de iluminação e ar condicionado.

O HSPE – Hospital do Servidor Público Estadual "Francisco Morato de Oliveira", foi fundado em 1961 para oferecer atendimento médico de qualidade aos servidores públicos do estado, seus dependentes e agregados, o HSPE figura hoje entre os maiores do Estado de São Paulo.

A Direção do Hospital solicitou para a AES Eletropaulo a avaliação dos equipamentos elétricos com maiores possibilidades de enquadramento no Programa de Eficiência Energética. Após os estudos dos principais usos finais do Hospital, chegou-se a Central de Água Gelada – CAG do sistema de ar condicionado como sendo o uso final viável para execução de um projeto de eficiência energética.

O Projeto de Eficiência Energética - PEE foi elaborado em consonância com o Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética, aprovado pela Resolução Normativa nº 300, de 12 de fevereiro de 2008. Neste manual são definidos os critérios para a elaboração do cálculo da Relação Custo Benefício – RCB de um projeto.

O projeto atendeu as etapas de Contratação da Empresa de Serviços de Conservação de Energia – ESCO, elaboração de diagnóstico energético, desenvolvimentos de projetos executivos com a provação junto ao cliente, execução das obras e medição e verificação dos resultados.

A etapa de medição e verificação foi realizada buscando atender ao Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – PIMVP.

## 2. Desenvolvimento

O HSPE está localizado na Rua Pedro de Toledo, 1800 no bairro de Moema, cidade de São Paulo - SP

FIGURA 1



A Central de Água Gelada do HSPE era composta por 03 chillers com compressores alternativos de 120 TR (Tonelada de Refrigeração) cada, 4 bombas de água gelada – BAG, 4 bombas de água de condensação – BAC e duas torres de resfriamento.

O projeto implementado objetivou a substituição dos equipamentos citados por:

- 03 chillers de 120 TR com compressores tipo “parafuso”;
- 04 bombas de água gelada de 56m<sup>3</sup>/h x 40 mca (metros de coluna de água);
- 04 bombas de água de condensação de 70m<sup>3</sup>/h x 30 mca;
- 02 torres de resfriamento totalizando 360 TR;
- Painéis elétricos;
- Sistema de Automação;
- Reforma civil com a construção de fundações e novas bases;
- Substituição de toda a tubulação, válvulas e conexões que compõem o sistema hidráulico da CAG.

Também foi elaborado um diagnóstico dos fan coils das áreas atendidas pela CAG com a finalidade de subsidiar o Hospital a elaborar um plano de manutenção destes equipamentos, uma vez que tal atividade ficou fora do escopo do projeto devido a dois fatores: 1) o custo poderia inviabilizar o RCB e 2) dificuldade de acesso e parada das máquinas.

Para a implementação do projeto dentro das condições operacionais do Hospital foi necessário realizar uma reforma civil na CAG, pois a produção de frio só poderia ser interrompida por algumas horas em dias pré-definidos pelo Hospital.

A CAG está localizada em baixo de uma rampa onde circulam veículos que se dirigem a uma das entradas principais do Hospital. Junto a CAG haviam banheiros públicos, FOTO 1, que foram demolidos, aumentando a área da CAG. Neste local foram construídas as bases dos novos chillers FOTO 2.

FOTO 1



FOTO 2



Enquanto as tubulações de água gelada e de condensação estavam sendo montadas, as torres de resfriamento e as bombas eram substituídas uma a uma, de modo a evitar interrupção da produção de frio.

A instalação dos Chillers ocorreu em um período cuja temperatura ambiente foi propícia para que não fosse necessária a operação de mais de um equipamento, o que colaborou para evitar paradas prolongadas.

**FOTO 3**



**Chillers Antigos**

**FOTO 4**



**Chillers Novos**

O Plano de Medição e Verificação seguiu o disposto no PIMVP, método B, onde as economias são determinadas por medições de campo do uso de energia dos sistemas a quais a ação foi aplicada, separado do uso de energia do restante da instalação do Hospital. O Plano seguiu as etapas abaixo.

○ **Fronteiras de Medição**

Adotaram-se as fronteiras de medição visando à definição dos pontos para a obtenção dos dados a serem utilizados no cálculo das economias:

- Antes da implantação - quadro elétrico da CAG existente.
- Depois da implantação – quadro elétrico da nova CAG instalada.

○ **Avaliação dos Sistemas**

- **Sistema antigo**

Durante o processo de reforma da CAG foi instalado medidor de grandezas elétricas deixado na instalação por um período de 15 dias, de forma a medir o perfil de utilização de energia de todos os equipamentos integrantes da Central. Assim, obteve-se a potência elétrica (kW) utilizada pela CAG com registro horário para o período avaliado.

Da mesma forma fizeram-se medições de temperatura de entrada e de saída da água gelada em pontos que totalizam a vazão de água produzida pela totalidade dos chillers em operação.

Tratando-se de uma instalação dotada apenas de circuito primário de distribuição de água gelada, é dado do sistema que a vazão de água gelada é constante. Da multiplicação, a cada hora, do dado referente à diferença de temperatura entre a entrada e a saída da água pela vazão de água circulando

no circuito de água gelada, obteve-se a produção de frio em TR da CAG.

Dividindo, hora a hora os kW medidos pelos TR's tem-se a eficiência da CAG para o período considerado, que foi calculada em 2,04 kW/TR, conforme TABELA 1, que representa as medições no mês de maio.

TABELA 1

Vazão	165	m <sup>3</sup> /h
Temperatura média de entrada de água gelada	7,92	°C
Temperatura média de saída de água gelada	5,68	°C
Produção média de TR = (TEAG-TSAG)*Vazão*1000/3024	84,19	TR
Potência média registrada	171,33	kW
<b>Eficiência média</b>	<b>2,04</b>	<b>kW/TR</b>

O valor de kW/TR alto, que na realidade é função do lado térmico da relação, deve-se a algumas das seguintes hipóteses:

#### No Chiller

- Carga de gás refrigerante insuficiente;
- Folga na camisa dos pistões dos compressores;
- Folga nas palhetas dos pistões dos compressores;
- Incrustação parcial dos tubos dos trocadores de calor (condensadores).

#### Sistema

- Incrustação na tubulação de água gelada e de condensação;
- Sistema hidráulico desbalanceado;
- Baixa vazão de ar nos climatizadores.

Adicionalmente associou-se aos parâmetros de performance medidos a situação do clima na cidade no mesmo período.

- Sistema novo

Para obtenção dos dados do sistema novo foram utilizadas 546 medições considerando:

- Temperatura de saída da água gelada dos chillers (através dos sensores dos chillers);
- Temperatura de retorno da água gelada aos chillers (através dos sensores dos chillers);

- Medição pontual de vazão (sistema com vazão constante);
- Potência elétrica efetiva nos mesmos horários.

**TABELA 2**

Período de	Qd de	TR	kW/TR
Medição	medidas uteis	médio	médio
16/01 a 23/01	546	111	0,80

No período apontado na tabela acima, observou-se medições máximas de 360 TR e mínimas de 60 TR.

O cálculo final foi elaborado através de integração de software fornecido pela empresa contratada para instalação da automação do projeto e das medições obtidas.

- **Relação com temperatura externa**

Avaliando-se as temperaturas externas obtidas durante as medições das grandezas elétricas e de temperaturas de saída e retorno da água gelada, nota-se, em função do período do ano, uma diferença entre as temperaturas médias mínimas e máximas obtidas das medições antes da implantação do projeto (maio e junho) e depois da mesma (janeiro), sendo no primeiro momento registrado a média mínima de 13,5°C e máxima de 22,6 °C e no segundo momento a média mínima de 18,1 °C e máxima de 26,8 °C. A diferença entre os dois momentos, considerando-se a média do mês (média entre as médias mínimas e máximas) foi de 24,3% (22,5°C/18,1°C).

**TABELA 3**

Fase do projeto	Temperaturas médias °C			Diferença %	
	Minimas	Máximas	Médias		
Diagnóstico - (Maio)	15,6	23,3	19,45	18,1	24,28%
Diagnóstico - (Junho)	11,5	22	16,75		
M&V	18,14	26,85	22,495	22,50	

A variação de produção de frio registrada no mesmo período foi de 54,2% (111 TR/72 TR). Sendo 72 TR foi obtido pela média entre as médias registradas nas medições de maio (84 TR) e junho (60 TR).

- **Calculo das Economias**

O calculo da economia de energia elétrica com a modernização dos equipamentos da CAG é dada por:

$$EE = (C1 \times N1 \times EF1 - C2 \times N2 \times EF2) \times t \times 0,001$$

$$EE = (111,1 \times 1 \times 2,04 - 111,1 \times 1 \times 0,8) \times 8.760$$

$$EE = 1.206,8 \text{ MWh/ano}$$

O calculo da redução de demanda com a modernização dos equipamentos da CAG é dada por:

$$RDP = (C1 \times N1 \times EF1 - C2 \times N2 \times EF2) \times FCP$$

$$RDP = (111,1 \times 1 \times 2,04 - 111,1 \times 1 \times 0,8) \times 1$$

$$RDP = 137,8 \text{ kW}$$

Onde:

**EE** = Energia Economizada em MWh/ano

**RDP** = Redução de Demanda na Ponta

**C1** = Média de refrigeração solicitada corrigida - antigo

**C2** = Média de refrigeração solicitada medida - novo

**N1** = Número de Equipamentos antigos- Considerado o sistema

**N2** = Número de Equipamentos novos - Considerado o sistema

**EF1** = Rendimento do sistema antigo (kW/TR)

**EF2** = Rendimento do sistema novo (kW/TR)

**t** = Horas de funcionamento por ano

**FCP** = Fator de coincidência na ponta

**CED** = Custo evitado de Demanda

**CEE** = Custo evitado de Energia

**i** = Taxa de juros

O valor de capacidade utilizado nos cálculos acima (111 TR) representa a produção média da CAG como um todo, como um sistema, ao invés de considerar cada chiller individualmente.

- o **RCB Calculado do Projeto**

Para cálculo da Relação Custo Benefício - RCB do projeto foram identificadas e calculadas a premissas conforme TABELA 4.

TABELA 4

PREMISSAS		
Parâmetro	Valor	Unidade
C1	111,1	TR
N1	1	
EF1	2,04	kW/TR
C2	111,1	TR
N2	1	
EF2	0,8	kW/TR
FCP	1	
t	8.760	h
CED	441,18	R\$/kW
CEE	165,96	R\$/MWh
RDP	137,8	kW
EE	1.206,8	MWh
i	8	%
<b>Custo Total</b>	<b>R\$ 1.505.049,33</b>	

De posse das premissas, aplicou-se a fórmula indicada no Manual para a Elaboração do Programa de Eficiência Energética da Aneel, representada na TABELA 5.

TABELA 5

CALCULOS	
$RDP = (C1 \times N1 \times EF1 - C2 \times N2 \times EF2) \times FCP$	
$RDP = \quad \quad \quad 137,8 \quad \quad kW$	
$EE = (C1 \times N1 \times EF1 - C2 \times N2 \times EF2) \times t \times 10^{-3}$	
$EE = \quad \quad \quad 1.206,8 \quad \quad MWh$	
$RCB = \frac{\text{Custo Anualizado}}{\text{Benefício Anualizado}}$	
$RCB = \frac{R\$ \quad 153.292,60}{R\$ \quad 261.061,35}$	
$RCB = \quad \quad \quad \mathbf{0,587}$	



### **3. Conclusões**

**O Projeto de Eficiência Energética - PEE executado no Hospital do Servidor Público faz parte de uma série de projetos que a AES Eletropaulo desenvolve anualmente no sentido de proporcionar aos seus clientes os benefícios do uso racional da energia elétrica.**

**O Projeto além de proporcionar economia de energia e redução de demanda de ponta, importantes para o setor elétrico e benéfico economicamente ao cliente, trás outros benefícios diretos, como: confiabilidade no sistema modernizado que atende áreas críticas do Hospital e redução dos custos e paradas com manutenção.**

**Atendendo ao Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética da Aneel, a avaliação da performance do projeto foi baseada no Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance – PIMVP.**

**Ao iniciar o projeto foram efetuadas medições de campo nos equipamentos antigos através da instalação de medidores específicos. Após a entrada em funcionamento dos novos equipamentos, novas medições foram realizadas.**

**Com o plano de medição e verificação aplicado foi possível identificar as economias obtidas com o projeto e comprovar seu atendimento à Relação Custo Benefício conforme determina a Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel.**

### **4. Referências bibliográficas**

**ANEEL, Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética. Aprovado pela Resolução Normativa n° 300, de 12/02/2008.**

**INEE, Tradução do International Performance Measurement and Verification Protocol: Concepts and Options for Determining Energy Savings – October, 2000.**

---