



## HOSPITAL SÍRIO LIBANÊS DE SÃO PAULO - SISTEMA HÍBRIDO DE AQUECIMENTO DE ÁGUA SANITÁRIA<sup>1</sup>

Gilberto de Mello<sup>2</sup>

### Resumo

Até o ano de 2009 toda água quente sanitária utilizada no Hospital Sírio Libanês de São Paulo era produzida por duas caldeiras de 3,0 Mcal/h cada e estocada em quatro reservatórios de 15.000 litros cada. Esse sistema ocupava uma área de 580m<sup>2</sup> no 5º subsolo. Nesse ano entrou em operação uma nova central de aquecimento, com o objetivo de liberar completamente a área da antiga central de aquecimento e que ocupou uma área de apenas 47m<sup>2</sup>. Essa nova central ainda reduziu sensivelmente os custos operacionais de geração de água quente sanitária, devido à sua maior eficiência energética, à sua automação e baixo custo de manutenção e, ainda reduziu significativamente a emissão de gases de efeito estufa. A solução implantada é um sistema híbrido de produção de calor, com inteligência integrada, composto por aquecedores a gás de alta eficiência e bombas de calor do tipo água-água, que recuperam o calor rejeitado pelo sistema de ar condicionado. Esse sistema híbrido opera automaticamente garantindo grande eficiência energética na produção de água quente e, atende simultaneamente as demandas de calor dos diversos edifícios do Hospital, com o menor custo específico possível, para as condições de contorno de projeto e, para as tecnologias disponíveis no mercado naquele ano.

**Palavras-chave:** Aquecimento; Água; Eficiência; Energética.

### HOSPITAL SÍRIO LIBANÊS SÃO PAULO - HYBRID SYSTEM OF SANITARY WATER HEATING

#### Abstract

By the year 2009 all sanitary hot water used in the Sírio Libanês Hospital in São Paulo was produced by two boilers of 3,0 Mcal/h each and stored in four tanks of 15,000 liters each. This system occupied an area of 580m<sup>2</sup> on the 5th underground. In this year began operating a new heating station, in order to completely release the area of the old heating station and occupied an area of only 47m<sup>2</sup>. This new plant has significantly reduced the operating costs of generating sanitary hot water due to its greater energy efficiency, automation and its low maintenance costs and also significantly reduced the emission of greenhouse gases. The solution is implemented in a hybrid production of heat, with built-in intelligence, consisting of high efficiency gas heaters and heat pumps water-water type, which recovers the heat rejected by the air conditioning system. This hybrid heating system operates automatically ensuring high energy efficiency in the production of hot water, and meet simultaneously the demands of heat from various buildings of the Hospital, with the lowest specific cost as possible to the contour conditions of the project and to the technologies commercially available in that year.

**Key words:** Heating; Water; Efficiency; Energy.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 33º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 27º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 22 a 24 de agosto de 2012, Belo Horizonte, MG.*

<sup>2</sup> *Engº Especialista em Eficientização Energética Industrial - TermoCOP Engenharia.*



## 1 INTRODUÇÃO

O Hospital Sírio Libanês de São Paulo, um dos maiores e mais renomados hospitais do país, em sua constante busca de avanço tecnológico, ampliação de seus serviços e melhoria na qualidade do atendimento de seus pacientes, necessitava instalar no ano de 2008, um grupo novos geradores que permitissem e assegurassem, em contingência, o fornecimento de energia elétrica para as novas Unidades de Terapia Intensiva, para tanto, seria necessário localizar uma área para sua instalação e, avaliar a possibilidade de sua desocupação. Essa era meta primária de seu Departamento de Engenharia de Manutenção.

Por questões logísticas e técnicas, a área escolhida para a avaliação, foi a da antiga central térmica, localizada no 5º subsolo de uma de suas edificações. Essa central era responsável pela produção centralizada de vapor e água quente sanitária para todo o Hospital e ocupava uma área total de 580m<sup>2</sup>. No mesmo piso, ao lado dessa central, havia uma pequena área de 47m<sup>2</sup>, utilizada para pequenas manutenções, que foi a escolhida para abrigar a nova central térmica, caso sua instalação se mostrasse viável.

Como meta secundária a instituição tinha a redução dos custos operacionais com o aquecimento de água sanitária, com a produção de vapor para utilização no SND, Serviço de Nutrição e Dietética e, CME, Central de Material Esterilizado e, a redução de emissões de gases de efeito estufa.

Este trabalho detalhará a solução encontrada, sem apresentar os cálculos energéticos, valores tarifários e dimensionamentos e, enfatizará os resultados e economias alcançados, com a geração de água quente sanitária pela nova central, não considerando os resultados e economias, oriundas de inovações tecnológicas implantadas no SND e na CME, devido à descentralização da produção de vapor, que ficou sob responsabilidade exclusiva do Departamento de Engenharia de Manutenção do Hospital.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Dada a exiguidade da área destinada à nova central e, às exigências da meta secundária do Hospital de reduzir custos operacionais e a emissão de gases de efeito estufa, a solução não poderia passar por tecnologias convencionais de geração de calor.

Para que alternativas de geração pudessem ser estudadas, era necessário se conhecer a demanda total e efetiva de calor, desagregá-la e determinar seu perfil, por consumidor.

Verificou-se que 55% da produção de vapor da antiga central térmica destinavam-se ao aquecimento de água sanitária a 65°C, sendo que o SND e o CME utilizavam os 45% restantes, da produção total das caldeiras, em processos que utilizavam vapor ou, para a produção de água acima de 65°C.

Assim sendo, o Departamento de Engenharia de Manutenção do Hospital, partiu para a análise da possibilidade de produção de vapor, no local de seu consumo, através de equipamentos modernos e de alta eficiência energética, que pudessem utilizar, em sua alimentação, a água pré-aquecida, produzida na nova central. Essa nova central térmica deveria também gerar água quente sanitária para o atendimento dos blocos B, e Térreo a Torre do Hospital, já que o Bloco A, cuja demanda de calor era muito pequena, manteria seu próprio sistema de produção de água quente sanitária, independente da nova central térmica.



O Departamento de Engenharia do Hospital ficou encarregado de pesquisar, avaliar custos de investimento e operacionais, além de, especificar os novos equipamentos que deveriam ser instalados no Serviço de Nutrição e Dietética e na Central de Material Esterilizado, para a produção local de vapor.

Através de medições do consumo de água sanitária para o SND, CME, edifício Térreo a Torre, cálculos de consumo do Bloco B e, previsão de expansão do atendimento em 20%, foi possível a determinação das demandas de água quente sanitária e do perfil diário de consumo que a nova central térmica deveria atender.

## 2.1 Condições de Contorno para a Concepção da Nova Central Térmica

Por exigência do Hospital a nova central deveria:

- ocupar uma área de no máximo 47m<sup>2</sup> no 5º subsolo;
- atender à demanda de calor de 330 leitos dos blocos B, edifício Térreo a Torre, cozinha, subsolo e, prever um acréscimo de demanda de água quente de 20%;
- estar conectada diretamente ao Bloco B, através de um circuito hidráulico de aproximadamente 400m de extensão;
- ter redundância total em seus equipamentos; e
- não interromper sua operação no atendimento da demanda, mesmo em casos de falha do sistema elétrico.

## 2.2 Concepção da Nova Central Térmica

Quando da desativação das caldeiras da antiga central térmica, não seria mais possível se utilizar vapor para o aquecimento de água sanitária, mesmo porque, a utilização de vapor para esse fim se mostra de baixo desempenho energético e ambiental.

Como alternativas de equipamentos de aquecimento poderiam ser consideradas os coletores solares, as bombas de calor e os aquecedores de passagem a gás.

Os coletores solares não puderam ser utilizados como uma opção, pois a localização da nova central no 5º subsolo, a pequena disponibilidade de área nas coberturas dos blocos, o reduzido espaço interno na central térmica para a instalação de grandes reservatórios térmicos, entre outros problemas técnicos, inviabilizavam sua implantação.

As bombas de calor se mostraram ser uma opção viável a ser estudada. Uma vez mais, a localização da central e a grande limitação de espaço físico foram um impeditivo para a instalação de bombas de calor convencionais do tipo Ar - Água, ou seja, aquelas que retiram calor do ar ambiente para promover a evaporação de seu fluido refrigerante.

Pensou-se, então, no desenvolvimento de um equipamento novo no Brasil, uma bomba de calor do tipo Água - Água, que retirasse calor da água de refrigeração dos chillers, do sistema de ar condicionado do Hospital, para promover a evaporação de seu fluido refrigerante.

Um fabricante nacional de bombas de calor se propôs a desenvolver esse equipamento. O resultado desse desenvolvimento foi uma máquina compacta, que podia ser instalada em uma prateleira, uma sobre a outra, promovendo uma grande redução do espaço físico necessário para sua instalação, aspecto fundamental, na construção da nova central.



Dadas as exigências do item 2.1, o sistema de aquecimento composto por bombas de calor do tipo água-água, que utilizaria energia elétrica para geração de calor, não atenderia a sua última condição, que em caso de falha do sistema elétrico, o sistema não deixasse de atender à demanda de água quente, pois, estas seriam impedidas de operar, já que, não poderiam ser alimentadas pelos geradores existentes, projetados para atender apenas às cargas elétricas prioritárias do Hospital. Portanto, o sistema de aquecimento deveria também conter equipamentos de aquecimento que não usassem a energia elétrica como energético principal e que funcionassem em contingência e como apoio ao sistema de bombas de calor.

A solução encontrada foi um sistema de bombas de calor operando na base da geração de água quente, apoiado por um sistema de aquecedores a gás de alta eficiência energética, que permitisse a redundância total ao sistema de bombas de calor, mesmo em caso de falhas do sistema elétrico.

Para que a nova central não sofresse paralisação de funcionamento durante falhas do sistema elétrico, era preciso que toda a parte de comando, controle, monitoração, recirculação de água em aquecimento pelos aquecedores a gás e, dos anéis dos blocos, atendidos pela nova central se mantivessem em funcionamento, alimentada pelo grupo gerador existente, em uma tensão de 220V. Para tanto, foram projetados dois painéis elétricos alimentados em duas diferentes tensões, 220V e 380V.

O painel em 380V, alimentaria as bombas de calor sob o comando e controle do painel de 220V e seria desenergizado em casos de falha no sistema elétrico. Já o painel alimentado em 220V, permaneceria energizado, mesmo durante falhas do sistema elétrico, garantindo a geração e a distribuição de água quente sanitária, em contingência.

Como as tarifas de energia elétrica para consumidores primários, em horários de ponta do sistema elétrico, são sensivelmente majoradas, as bombas de calor deveriam impedidas de operar durante esse período de três horas, liberando os aquecedores a gás, para o atendimento de toda a demanda de calor, cuja, operação seria sensivelmente mais econômica, do que a do sistema de bombas de calor sob essa condição tarifária.

Para a operação com as bombas de calor do tipo água-água seria necessário o desvio de parte do fluxo de água do sistema de refrigeração do chiller, que era destinado às torres de resfriamento, para a nova central térmica e que após sua passagem pelos evaporadores das bombas de calor, deveria ser devolvido para a linha de retorno da torre de resfriamento.

Essa água seria admitida a 30°C e devolvida a 27°C, promovendo, entre outros ganhos, um ganho energético no sistema de ar condicionado. Para tanto, deveria ser instalada uma rede de dutos entre a nova central térmica e as linhas de água de refrigeração dos chillers. Essa linha não poderia ser impedida de operar em nenhuma condição, portanto, a essa conexão teria que ser feita com a linha viva, sem permitir a contaminação da água com qualquer tipo material metálico, resultante da perfuração ou soldagem.

## 2.3 Dimensionamento da Nova Central Térmica

Baseado em registros do hidrômetro de alimentação da antiga central térmica, cálculos de consumo por consumidor final e, estimativas de consumo para novos pontos de consumo, não atendidos pela antiga central e, expansão do atendimento, foi possível se estabelecer a demanda diária e o perfil dessa demanda, que deveria ser atendida em qualquer condição de operação do sistema.



A Tabela 1 e a Figura 1, mostram os valores parciais e totais da soma dos consumos, onde, o valor calculado para o bloco B está somado ao bloco Térreo à Torre e, o consumo da cozinha está englobado ao do subsolo.

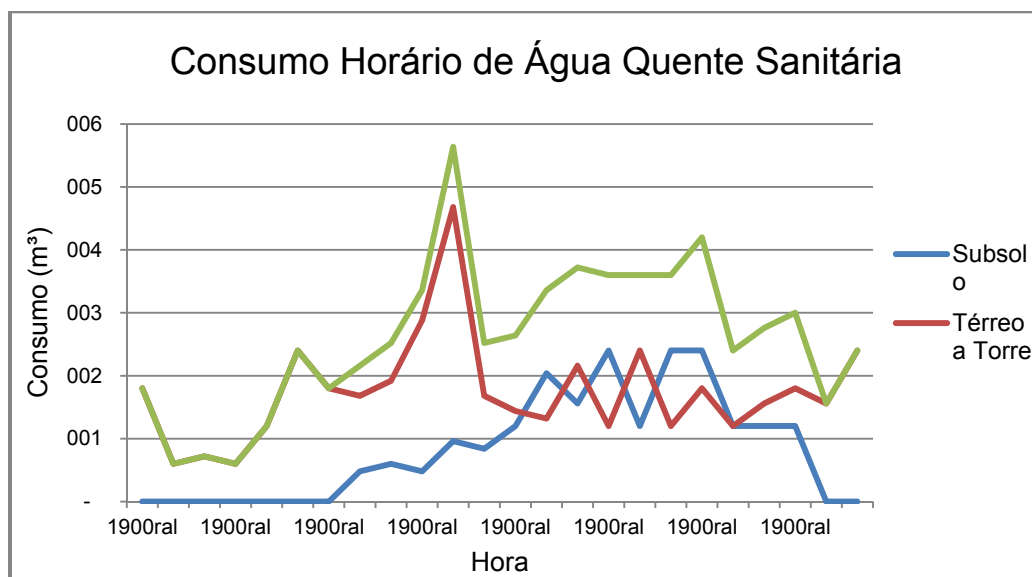


Figura 1. Gráfico de consumo horário de água quente sanitária.

Tabela 1. Consumo Total Horário - 2008

Hora	Consumo (m³/h)	Demanda (kcal)
1	0,63	29347
2	0,75	35216
3	0,63	29347
4	1,25	58694
5	2,51	117387
6	1,88	88041
7	2,19	102523
8	2,55	119350
9	3,44	161217
10	5,76	269610
11	2,52	117787
12	2,59	121313
13	3,23	151059
14	3,67	171793
15	3,43	160454
16	3,60	168268
17	3,43	160454
18	4,06	189801
19	2,34	109574
20	2,72	127182
21	2,97	138921
22	1,63	76302
23	2,51	117387
24	1,88	88041
Total	62,17	2.909.065



A grande limitação de espaço não permitia a reservação de um grande volume de água quente, exigindo que o sistema atendesse quase que instantaneamente aos picos de demanda.

A antiga central de aquecimento operava com diversos boilers em diferentes pressões, para que fosse possível o atendimento nas pressões exigidas pelos pontos consumidores. Esses boilers eram alimentados durante o período do dia por água aquecida através de trocadores de calor, que recebiam vapor das caldeiras e, durante toda a noite, eram aquecidos através de bancos de resistências internas a eles.

A nova central não poderia possuir reservatórios submetidos a diferentes pressões, dada à limitação do espaço físico. A solução encontrada foi a de utilizar-se um ou mais reservatórios térmicos submetidos à maior pressão exigida pelos pontos consumidores e, reduzi-la, apenas na saída para o consumo, para a pressão adequada de consumo. Como a água de retorno dos anéis se faria em pressões menores que a do reservatório, as motobombas de recirculação deveriam, não somente vencer as perdas de carga desses anéis, como também, elevar a pressão da água suficientemente para permitir sua entrada nos reservatórios térmicos.

Simulações matemáticas de operação do sistema em diversas condições de demanda determinaram a correta composição e balanceamento de potências e a reserva térmica, para o atendimento de todos os quesitos de projeto. A máxima variação de temperatura admissível nos reservatórios térmicos era de 15°C, em uma hora de pico de demanda de água quente.

## 2.4 Composição da Nova Central Térmica

O sistema híbrido de geração de calor, da nova central térmica era composto originalmente por nove bombas de calor do tipo água-água, cinco aquecedores de passagem a gás, dois reservatórios térmicos, e um sistema de monitoramento com as seguintes especificações básicas:

- Bombas de Calor
  - Potência do Compressor: 8,30 kW;
  - COP. médio: 5,4 (aquecimento e resfriamento);
  - Potência Média Útil: 23.400kcal/h (para temperatura de água do chiller 30°C);
  - Tensão : 380V/tri;
  - Comprimento: 700 mm;
  - Largura [mm]: 1.700 mm;
  - Altura: 800 mm;
  - Peso: 152 kg.
- Aquecedores a gás:
  - Rendimento: 81,3%;
  - Consumo máximo de GN: 9,26 m<sup>3</sup>/h;
  - Vazão máxima ( $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$ ): 55 l/min.
- Reservatório térmico
  - Formato: Cilíndrico vertical;
  - Pressão de trabalho: 8.0 kgf/cm<sup>2</sup>;
  - Capacidade do reservatório: 4.500 litros;
  - Altura: 3.400 mm;
  - Diâmetro: 1.500 mm.



O Sistema de Monitoramento deveria permitir a obtenção das seguintes informações:

- demanda de energia do conjunto elétrico;
- consumo de energia integralizada a cada 15 minutos, sincronizado com medição da concessionária;
- consumo de gás natural;
- consumo de água quente por consumidor e total;
- temperatura de água fria – sanitária;
- perfil de temperatura no reservatório;
- temperatura de água de condensação do chiller – entrada bomba de calor;
- temperatura de água de condensação do chiller – saída bomba de calor.
- produção de energia térmica das bombas de calor;
- carga térmica retirada do circuito do chiller;
- produção de energia dos aquecedores a gás;
- eficiência energética global do sistema; e
- perfil de utilização das bombas de calor e dos aquecedores a gás.

## 2.5 Operação da Nova Central Térmica

Dada a exigência de redundância total no atendimento da demanda de calor pela nova central térmica, foi necessária a instalação de um sistema eletrônico programável de comando geral de sua operação, o que a tornaria mais eficiente energeticamente e, ao mesmo tempo, permitiria a instalação da menor potência possível em equipamentos de aquecimento, garantindo, ainda assim, o atendimento do pico de demanda de calor, cuja duração era de poucos minutos.

Após o curto espaço de tempo da ocorrência do pico de demanda de água quente, o sistema operaria com um menor fator de carga durante o restante do dia, garantindo sua durabilidade e menor manutenção. Para tanto, a programação de operação obedece às seguintes condições:

### Dias úteis

- Entre 0h00 e 8h57 – manutenção da temperatura em 65°C - Operação por bombas de calor.
- Entre 8h58 e 9h00 - elevação de temperatura até 70°C - Operação por bombas de calor.
- Entre 9h01 e 10h00 - queda de temperatura até 60°C - Operação por bombas de calor
- Entre 10h01 e 10h35 - elevação de temperatura até 65°C e manutenção dessa temperatura até 15h57 - Operação por bombas de calor
- Entre 15h58 e 16h59 - elevação de temperatura até 70°C - Operação por bombas de calor

A elevação de temperatura de 65°C para 70°C é desejável, porém, não necessária, pois, ela visa o aumento momentâneo da reserva térmica, com o objetivo de minimizar a queima de gás natural, reduzindo o custo operacional e, a emissão de gases de efeito estufa do sistema, durante o horário de ponta do sistema elétrico, pois, com maior reserva térmica o acionamento dos aquecedores a gás é retardada em aproximadamente uma hora.



- Entre 17h00 e 20h00 queda de 70°C para 55°C e manutenção da temperatura em 55°C - Operação por aquecedores de passagem durante o período de ponta do sistema elétrico

Nesse período a reserva térmica de projeto é totalmente consumida e sua temperatura cai de 70°C para 55°C.

A manutenção dessa temperatura mais baixa nesse período também tem por objetivo para minimizar a queima de gás natural, reduzindo o custo operacional e a emissão de gases de efeito estufa.

- Entre 20h01 e 24h00 elevação e manutenção da temperatura em 65°C - operação por bombas de calor

### Fins de semana e feriados nacionais

O programador lógico digital de operação do sistema contém, em sua memória, um calendário anual que permite que, durante os fins de semana e feriados nacionais, nos quais não há diferenciação de tarifas elétricas durante todo o dia, as bombas de calor, sejam liberadas para operar durante as 24 horas do dia, com objetivo de reduzir os custos operacionais e a emissão de gases de efeito estufa.

## 3 RESULTADOS

A entrada em operação da nova central térmica ocorreu em setembro de 2009, operando de forma experimental durante um mês. A transferência da demanda dos diversos consumidores foi feita em etapas, por níveis de pressão de atendimento e, de forma programada, até que todos os pontos consumidores fossem atendidos exclusivamente por ela e, somente então, a antiga central foi desconectada dos anéis de distribuição e recirculação e, sua área liberada para o Hospital.

Dados de monitoramento de operação em regime permitiram a verificação da resposta do sistema à demanda real e, também, o cálculo de seu desempenho ambiental e energético conforme Tabela 2.

Durante a fase de teste verificou-se que os sistemas de geração de calor operavam abaixo de suas especificações no que tange a sua eficiência energética.

O ajuste dos parâmetros de operação desses equipamentos e das vazões de água foi fundamental para o aumento de seus desempenhos energéticos, pois, são equipamentos de alta tecnologia embarcada e bastante sensíveis às condições a que são submetidos em sua operação. Tais ajustes levaram a Nova Central a operar dentro da faixa de desempenho energético de projeto, propiciando ao Hospital:

- a drástica redução da área ocupada, a redução dos custos associados à operação das caldeiras, como o tratamento e reposição de água, vistorias, testes e laudos, além da liberação para outras áreas de trabalho de todos os seus operadores, já que a nova central operava de forma automática;
- a economia esperada em insumos energéticos;
- a sensível redução da emissão de gases de efeito estufa; e
- a redução da vazão, da temperatura e do volume repostado e tratado de água do circuito de refrigeração dos chillers.





**Tabela 2.** Resultados - 2009

Nova Central Térmica - Quadro Resumo	
Equipamentos	
Bomba de Calor 23.400 Kcal/h	9
Aquecedor a gás 66.000 Kcal/h	5
Reservatório Térmico (litros)	9.000
Condições Operacionais	
Bomba de Calor Opera na Ponta em Dias Úteis	Sim
Redundância Total dos Sistemas	Sim
Temperatura Mínima do Reservatório (°C)	58
Tempo em Temperatura Mínima (h/dia)	<1,0
Tempo em Temperatura Máxima (h/dia)	>23,0
Custo Anual Total dos Insumos (R\$)	
Sistema Atual	269.954,87
Sistema Híbrido	108.134,03
Economia Anual	
Economia Anual (R\$)	161.820,84
Economia percentual	59,94%
Custo Específico de Produção R\$/m <sup>3</sup>	
Sistema Atual	10,62
Sistema Híbrido	4,25
Desempenho Ambiental	
Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa (kg/ano)	144.000

## 4 DISCUSSÃO

A nova central térmica ocupou uma área 12 vezes menor que a existente, liberando para o Hospital uma área de fundamental importância estratégica, em um conjunto de edificações de alta densidade de ocupação, uma sensível redução de custos operacionais, da emissão de gases de efeito estufa, e garantiu um nível de segurança operacional excepcional, já que, desde sua inauguração, não ocorreram falhas de operação no sistema.

## 5 CONCLUSÃO

A escassez de áreas e os crescentes custos do metro quadrado, não só nas grandes cidades, exigirá soluções alternativas para a instalação de facilidades em qualquer tipo de instalação.

A escassez de recursos naturais e o aumento progressivo dos custos de exploração, que se desdobram na escassez de recursos energéticos, exigirão soluções inteligentes, energeticamente eficientes e que contemplem o desempenho ambiental, para o atendimento de diversos tipos de demanda da sociedade.

A necessidade de redução de custos operacionais com insumos energéticos e mão de obra, para aumentar a competitividade em qualquer setor, seja ele produtivo ou de serviços se faz premente, para tanto a eficiência energética e, a automação nos processos torna-se obrigatória.



Pequenos esforços localizados resultam em grande redução da emissão de gases de efeito estufa, o que contribui de forma concreta para a redução global da emissão desse tipo de gases.

A nova central térmica do Hospital Sírio Libanês de São Paulo sintetiza esse tipo de esforço e de filosofia de trabalho, que pode ser adotada em diversos processos da atividade humana, sem a perda da qualidade de vida, da qualidade do serviço prestado, da segurança operacional e, ao contrário, contribui significativamente para sua melhora.

## **Agradecimentos**

Departamento de Engenharia de Manutenção - Hospital Sírio Libanês de São Paulo