
CAPÍTULO
15

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

15.1 INTRODUÇÃO

As sucessivas crises energéticas iniciadas em 1971 com a denominada *crise do petróleo*, que culminaram com a decisão dos países que compunham a OPEP — Organização dos Países Exportadores de Petróleo — de estabelecer que os preços do petróleo seriam fixados pela própria organização e não pelas companhias distribuidoras de petróleo, fizeram seu preço saltar de US\$ 4,00 o barril para cerca de US\$ 40,00. Nos dias atuais, o preço do petróleo oscila entre US\$ 50,00 e US\$ 70,00.

Declarada a crise, os governos e as sociedades, em geral, foram se conscientizando da necessidade de conter os desperdícios de energia e implementar programas para alcançar esse objetivo. No Brasil, os ministérios das Minas e Energia e Indústria e Comércio tomaram para si essa tarefa em 1985, instituindo o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica — PROCEL, cuja função básica era integrar as ações de conservação de energia, na época em andamento por iniciativa de várias organizações públicas e privadas.

Com o aumento do consumo de energia no mundo, a sociedade vem a cada dia se preocupando com as medidas de uso racional das diversas formas de energia utilizadas, notadamente a energia elétrica, foco da análise que será desenvolvida neste capítulo.

Há também que se considerar que a geração de energia, seja ela hidráulica, a óleo, a carvão e a gás natural, agride de uma forma ou de outra o meio ambiente. Logo, é necessário preservar as fontes de energia existentes comercialmente e aumentar a eficiência dos aparelhos consumidores para evitar uma maior agressão ao meio ambiente.

Atualmente, o governo brasileiro tem desenvolvido uma política moderada de conservação de energia com a finalidade de reduzir os desperdícios, notadamente da área industrial, comercial e de iluminação pública, buscando uma melhor utilização da energia consumida. Atualmente, o PROCEL, órgão vinculado à ELETROBRÁS, é o responsável direto pela execução das políticas de eficiência energética, agindo das mais diferentes formas, tais como na educação, na promoção, no financiamento, no incentivo etc.

Os procedimentos e as ações para reduzir os desperdícios de energia elétrica descritos neste livro são resultados de práticas utilizadas nas dezenas de projetos desenvolvidos pela CPE — Consultoria e Projetos Elétricos, associada a uma extensa pesquisa de publicações especializadas, notadamente aquelas editadas pelo PROCEL.

Para se realizar um estudo de eficiência energética numa instalação industrial, é necessário agir nos diferentes tipos de carga com a finalidade de verificar o seu potencial de desperdício. Além das mencionadas cargas, devem ser implementadas certas ações, que podem resultar na racionalização do uso de energia e a conseqüente economia na fatura mensal de energia elétrica. Essas ações devem ser implementadas nos segmentos de consumo a seguir enumerados:

- Iluminação
- Condutores elétricos
- Fator de potência
- Motores elétricos
- Consumo de água
- Climatização
- Ventilação industrial

- Refrigeração
- Aquecimento de água
- Elevadores e escadas rolantes
- Ar comprimido
- Carregamento de transformadores
- Instalação elétrica
- Administração do consumo de energia elétrica
- Controle de demanda

5.2 CÁLCULO ECONÔMICO

Todo projeto de uma instalação elétrica deve buscar a eficiência operacional. No entanto, essa eficiência deve ser medida de forma a se encontrar justificativas econômicas para a sua implementação. Não é razoável adotar procedimentos para eficientizar um projeto elétrico a qualquer custo.

Sempre que for adotada uma ação de eficiência energética esta deve ser precedida de uma análise econômica. O método de cálculo denominado Valor Presente Líquido (NPV) é de fácil execução e deve ser aplicado em todas as ações de eficiência energética.

O Valor Presente Líquido é a soma algébrica de todos os fluxos de caixa descontados para o instante $T = 0$. Pode ser determinado através da Equação (15.1).

$$F_{ac} = \sum_{T=0}^N \frac{F_c}{(1 + I_r)^T} \quad (15.1)$$

F_{ac} – fluxo acumulado, em R\$ ou em US\$;

F_c – fluxo de caixa descontado que corresponde à diferença entre as receitas e despesas realizadas a cada período considerado, em R\$ ou US\$;

I_r – taxa interna de retorno ou taxa de desconto;

T – tempo, em meses, trimestre ou ano, a que se refere a taxa interna de retorno;

N – número de períodos.

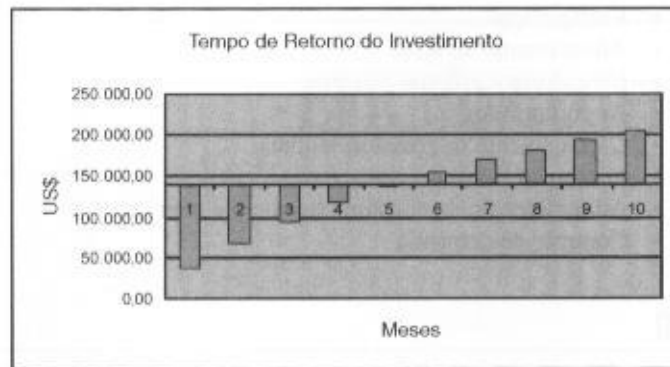
Através desse método pode-se determinar o tempo de retorno do investimento, observando-se a planilha de cálculo da Tabela 15.1 ou o gráfico da Figura 15.1. Quando a curva dos fluxos acumulados tocar a reta representativa do investimento, obtém-se o tempo de retorno do investimento realizado.

TABELA 15.1

Valor Presente Líquido

Investimento (US\$)					140.000,00
Taxa de Juros Anuais (16%)					1,1600
Ano	Valor das Receitas Anuais (US\$)	Valor das Despesas Anuais (US\$)	Receitas (US\$)	Fluxo Atualizado (US\$)	Fluxo Acumulado (US\$)
1	52.290,20	10.260,00	42.030,20	36.232,93	36.232,93
2	52.290,20	10.260,00	42.030,20	31.235,29	67.468,22
3	52.290,20	10.260,00	42.030,20	26.926,97	94.395,19
4	52.290,20	10.260,00	42.030,20	23.212,91	117.608,09
5	52.290,20	10.260,00	42.030,20	20.011,13	137.619,22
6	52.290,20	10.260,00	42.030,20	17.250,97	154.870,19
7	52.290,20	10.260,00	42.030,20	14.871,53	169.741,71
8	52.290,20	10.260,00	42.030,20	12.820,28	182.561,99
9	52.290,20	10.260,00	42.030,20	11.051,97	193.613,96
10	52.290,20	10.260,00	42.030,20	9.527,56	203.141,52

FIGURA 15.1
Tempo de retorno do investimento



EXEMPLO DE APLICAÇÃO (15.1)

Uma determinada indústria instalou uma usina de geração térmica auxiliar de 350 kW a gás natural. O investimento foi de US\$ 140.000,00. As despesas anuais com a operação e manutenção será de US\$ 2.500,00. Já as despesas anuais com o gás natural será de US\$ 7.760,00. A usina irá operar no período de ponta de carga. A energia paga à concessionária na hora de ponta, contabilizando os 22 dias úteis do mês, ao longo de um ano, vale US\$ 52.290,20. Determinar o tempo de retorno do investimento a uma taxa de desconto de 16% ao ano.

- Valor da receita anual: R\$ 52.290,20 (valor que a indústria deixará de pagar à concessionária)
- Valor das despesas anuais: R\$ 2.500,00 + 7.760,00 = R\$ 10.260,00
- Valor da receita líquida ou fluxo de caixa descontado: 52.290,00 – 10.260,00 = US\$ 42.030,00

Aplicando a Equação (15.1), tem-se:

$$F_w = \sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1 + I_r)^t}$$

$$F_w = \frac{42.030,00}{(1 + 0,16)^1} + \frac{42.030,00}{(1 + 0,16)^2} + \frac{42.030,00}{(1 + 0,16)^3} + \frac{42.030,00}{(1 + 0,16)^4} + \frac{42.030,00}{(1 + 0,16)^5} +$$

$$+ \frac{42.030,00}{(1 + 0,16)^6} + \frac{42.030,00}{(1 + 0,16)^7} + \frac{42.030,00}{(1 + 0,16)^8}$$

$$F_w = 36.232,75 + 31.325,13 + 26.926,97 + 23.212,91 + 20.011,13 + 17.250,97 +$$

$$+ 14.871,53 + 12.820,28$$

$$F_w = \text{US\$ } 182.561,99$$

Este valor pode ser determinado na planilha de cálculo da Tabela 15.1, observando-se no 8.º mês um fluxo de caixa acumulado de US\$ 182.561,99.

Observar também na planilha de cálculo da Tabela 15.1 que no início do 6.º ano o fluxo de caixa acumulado é de US\$ 154.870,19, um pouco superior ao valor do investimento que é de 140.000,00. Assim, nessas condições, a usina estaria paga no 6.º ano, considerando uma taxa de juro de 16% ao ano.

15.3 AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

15.3.1 Iluminação

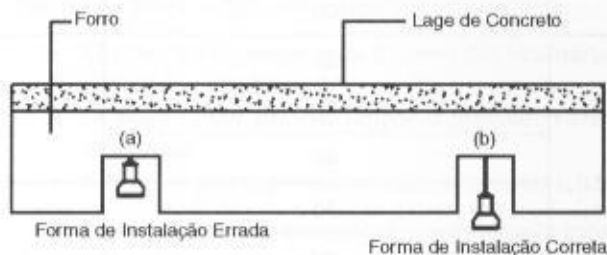
No Brasil, a iluminação representa atualmente cerca de 15% de toda a energia consumida, o que equivale aproximadamente a 46.000 GWh/ano. No ramo industrial, a energia, em média, representa de 2 a 8% do consumo da instalação.

No âmbito de uma instalação industrial, a iluminação pode ser uma das principais fontes de desperdício de energia elétrica, devido à diversidade de pontos de consumo, ao uso generalizado do serviço e ao freqüente emprego de aparelhos de baixa eficiência. Para reduzir o desperdício neste segmento é necessário seguir as orientações a seguir definidas:

15.3.1.1 Medidas de implementação a curto prazo

- utilizar lâmpadas adequadas para cada tipo de ambiente, conforme se sugere no Capítulo 2;
- utilizar telhas translúcidas nos galpões industriais onde não há necessidade de forro;
- deve-se dar preferência ao uso da iluminação natural;
- evitar o uso de refratores opacos, como globos, que eleva o índice de absorção dos raios luminosos, em média, de 30%;
- as luminárias de corpo esmaltado usadas por longo tempo devem ser substituídas por luminárias do tipo espelhada, que possuem maior eficiência;
- a iluminação dos ambientes deve ser desligada sempre que não houver a presença de pessoas;
- usar luminárias cuja geometria construtiva facilite a limpeza de suas partes refletoras;
- os difusores das luminárias devem ser substituídos sempre que se tornarem opacos, inibindo a passagem do fluxo luminoso;
- nos ambientes bem iluminados, deve-se verificar a possibilidade de acender alternativamente as lâmpadas neles instaladas;
- sempre que possível, deve-se utilizar lâmpadas de maior potência nominal em vez de várias lâmpadas de menor potência nominal, pois quanto maior for a capacidade das lâmpadas maior será o seu rendimento;
- evitar o uso de lâmpadas incandescentes; quando usá-las não empregar lâmpadas de bulbo fosco. É preferível utilizar lâmpadas com bulbo transparente;
- se as lâmpadas de bulbo instaladas em forro estão posicionadas no seu interior, em conformidade com a Figura 15.2 (a), devem ser reposicionadas para a condição da parte (b) da mesma figura. A mesma instrução deve ser aplicada para as lâmpadas fluorescentes, conforme Figura 15.3;

FIGURA 15.2
Posição das lâmpadas de bulbo
substituídas no forro



- em áreas externas, tais como estacionamentos, locais de carga e descarga etc., utilizar, preferencialmente, lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão, acionadas por fotocélulas;
- utilizar células fotoelétricas ou dispositivo de tempo na iluminação externa;
- as luminárias devem ser instaladas abaixo das vigas do teto dos ambientes, conforme a Figura 15.3;

FIGURA 15.3
Posição das lâmpadas
fluorescentes instaladas no teto



- os reatores devem ser desligados sempre que forem desativadas as lâmpadas fluorescentes;
- utilizar lâmpadas fluorescentes T8 de 16 ou 32 W em substituição às lâmpadas fluorescentes existentes comuns T10 de 20 e 40 W, respectivamente; as lâmpadas fluorescentes T8 são adequadas às luminárias para lâmpadas fluorescentes T10;
- em instalações novas, utilizar lâmpadas fluorescentes T5 de 14 ou 28 W que equivalem às lâmpadas fluorescentes T10 de 20 e 40 W, respectivamente; essas lâmpadas não são adequadas às luminárias para lâmpadas T8;
- reduzir a iluminação ornamental utilizada em vitrines e placas luminosas;
- as lâmpadas incandescentes devem ser substituídas por lâmpadas fluorescentes compactas, de acordo com a Tabela 15.2.

A Tabela 15.2 mostra a equivalência de fluxo luminoso entre lâmpadas incandescentes e compactas do tipo eletrônica, com reator incorporado. Já a Tabela 15.3 mostra a equivalência de fluxo luminoso entre alguns tipos de lâmpadas de uso comum em instalações comerciais e industriais (áreas administrativas).

TABELA 15.2

Equivalência de fluxo luminoso entre lâmpadas incandescentes e compactas

Tensão	Lâmpadas Incandescentes	Lâmpadas Compactas
Volts	(watt)	
127	25	5
	40	9
	50	13
	60	15
	70	
	75	
	80	20
	90	25
	100	
220	25	5
	30	9
	40	
	50	
	60	11
	70	15
	75	
	80	
	90	23
	100	25

TABELA 15.3

Equivalência de fluxo luminoso entre lâmpadas

Lâmpada	Tipo	Lâmpada	Tipo
(W)	-	(W)	-
125	Vapor de mercúrio	70	Vapor de sódio de alta pressão
250	Mista		
20	Fluorescente T10	100	Incandescente
40	Fluorescente T10	150	
32	Fluorescente T8	40	Fluorescente T10
16	Fluorescente T8	20	Fluorescente T10

15.3.1.2 Manutenção do sistema de iluminação

Para que o usuário do sistema de iluminação tenha sempre as condições de iluminância na forma como foi inicialmente projetado é necessário que o profissional de manutenção execute as seguintes tarefas:

- as paredes, o forro e as janelas devem ser limpas com determinada frequência, já que, normalmente, quando é projetado um sistema de iluminação, o projetista determina o número de lâmpadas de acordo com a cor das paredes, piso e teto, na condição de limpos. Se as paredes, teto e piso ficam sujos, a iluminância no recinto se torna menor, prejudicando as pessoas que utilizam o referido ambiente;
- as luminárias devem ser limpas com determinada frequência. Todas as instalações se tornam sujas com o tempo e reduzem a iluminância. O intervalo do tempo de limpeza das luminárias e das lâmpadas depende do grau de sujeira presente no ambiente. Por exemplo, nos ambientes de cozinha, a gordura das frituras rapidamente recobrem as superfícies das luminárias e lâmpadas. Nestes locais, é conveniente proceder a limpeza desses aparelhos a cada dois meses;
- substituir semanal ou mensalmente as lâmpadas queimadas;
- se não for conveniente sob o ponto de vista de transtorno na área de produção, substituir as lâmpadas com mal funcionamento ou queimadas quando acumular um total de 10%. Observar as Tabelas 15.4, 15.5 e 15.6 para identificar os distúrbios no funcionamento de diversas lâmpadas.

Para evitar a perda de iluminância quando 10% das lâmpadas estiverem queimadas, é necessário no cálculo luminotécnico acrescentar 10% de lâmpadas. Esse acréscimo pode ser evitado se as lâmpadas forem substituídas logo que se queimem.

- O intervalo de tempo para limpeza das luminárias varia de acordo com o nível de poluição do ambiente industrial;
- de outra forma, deve-se limpar as luminárias sempre que ocorrer a troca das lâmpadas nela instaladas;
- limpar ou pintar periodicamente as paredes e teto, mantendo o piso sempre limpo.

A Tabela 15.7 ilustra uma seqüência de cálculo para avaliar o potencial de economia que pode ser encontrado num determinado ambiente.

TABELA 15.4
Distúrbios no funcionamento das lâmpadas fluorescentes

Origem das Causas	Causas Prováveis	Solução
Lâmpada que acende e apaga constantemente	Lâmpada em uso além da sua vida útil	Substituição da lâmpada
	Starter com defeito	Substituição do starter
Baixo fluxo luminoso	Lâmpada em uso além da sua vida útil	Substituição da lâmpada
Dificuldades para acender a lâmpada	Tensão da instalação inferior a 7% da tensão nominal	Verificar as instalações internas ou reclamar à concessionária de energia
	Reator inadequado para a lâmpada	Substituição do reator
	Temperatura do ambiente inferior à mínima recomendada pelo fabricante	Substituição da lâmpada ou da luminária por aparelhos adequados ao ambiente
Lâmpadas com os terminais luminosos	Starter com defeito (curto-circuito)	Substituição do starter
	Reator com defeito	Substituição do reator
Lâmpadas que não acendem	Ligações do reator e lâmpadas incorretas	Corrigir a ligação
	Starter com defeito	Substituição do starter
	Eletrodos com defeito	Substituição dos eletrodos

TABELA 15.5
Distúrbios no funcionamento das lâmpadas vapor de mercúrio

Origem das Causas	Causas Prováveis	Solução
Ruptura do bulbo	Choques mecânicos ou vibrações da luminária por instalação em local não recomendado	Instalar dispositivos antivibratórios no ponto de instalação da luminária
Baixo fluxo luminoso	Tensão da instalação inferior a 7% da tensão nominal	Verificar as instalações internas ou reclamar à concessionária de energia
	Obstrução da luz por sujeira das lâmpadas	Limpeza da lâmpada
	Obstrução da luz por sujeira da luminária	Limpeza da luminária
	Lâmpada em uso além da sua vida útil	Substituição da lâmpada
	Reator não recomendado	Substituição do reator
	Reator com defeito	Substituição do reator

TABELA 15.6
Distúrbios no funcionamento das lâmpadas vapor de sódio — alta pressão

Origem das Causas	Causas Prováveis	Solução
Ruptura do bulbo	Contato com superfícies frias	Alterar a posição da lâmpada ou luminária
	Posição irregular de funcionamento da lâmpada	Alterar a posição da lâmpada ou luminária de acordo com a orientação do fabricante
	Choques mecânicos ou vibrações da luminária por instalação em local não recomendado	Instalar dispositivos antivibratórios no ponto de instalação da luminária
Baixo fluxo luminoso	Tensão da instalação inferior a 7% da tensão nominal	Verificar as instalações internas ou reclamar à concessionária de energia
	Obstrução da luz por sujeira das lâmpadas	Limpeza da lâmpada
	Obstrução da luz por sujeira da luminária	Limpeza da luminária
	Lâmpada em uso além da sua vida útil	Substituição da lâmpada
	Reator não recomendado	Substituição do reator
	Reator com defeito	Substituição do reator

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (15.2)

Determinar o tempo de retorno do investimento para melhoria do sistema de iluminação (*retrofitting*) da área administrativa de uma instalação industrial onde, após uma análise detalhada, foi possível elaborar o seguinte escopo de serviços:

- Troca do espelho refletor de todas as luminárias

As luminárias atuais têm espelho refletor esmaltado. Será aplicada uma película refletora espelhada no interior da luminária.

- Retirada do difusor opaco das luminárias para duas lâmpadas de 40 W

Verificou-se através de teste luminotécnico que a luminária com o refletor espelhado e sem o difusor reproduziria o mesmo fluxo luminoso que o aparelho original para uma lâmpada com o mesmo fluxo luminoso. Assim, será utilizada somente uma lâmpada de alto rendimento por luminária.

- Substituição das lâmpadas de 40 W fluorescentes com reatores eletromagnéticos por lâmpadas de 32 W com os respectivos reatores eletrônicos
- Substituição das lâmpadas de 20 W fluorescentes com reatores eletromagnéticos por lâmpadas de 16 W com os respectivos reatores eletrônicos.

a) Dados da instalação

- Demanda da instalação: 452 kW
- Quantidade de lâmpadas existentes de 40 W: 3.720
- Quantidade de lâmpadas existentes de 20 W: 196
- Perda no reator eletromagnético de 40 W: 15,3 W
- Perda no reator eletromagnético de 20 W: 14,4 W
- Quantidade de lâmpadas novas a serem instaladas de 32 W: 1.860;
- Quantidade de lâmpadas novas a serem instaladas de 16 W: 98;
- Perda no reator eletrônico de 32 W: 9,9 W;
- Perda no reator eletrônico de 16 W: 9,3 W.

Com base nessas informações obtidas através de levantamento das instalações, serão desenvolvidos os cálculos econômicos, ou seja:

- Horário de funcionamento: 13 horas/dia (das 7 às 20 horas)
- Número de dias de funcionamento: 22 dias/mês
- Funcionamento no horário de ponta: 55 horas/mês
17h30min–20 horas → 2,5 horas × 22 dias = 55 horas
- Funcionamento fora do horário de ponta: 231 horas/mês
22 × 13 = 286 horas – 55 horas = 231 horas
- Período anual de funcionamento: 3.432 horas
- Potência instalada atual: 212.458 W = 212,4 kW

$$P_{at} = 3.720 \times (40 + 15,3) + 196 \times (20 + 14,4) = 21.458 \text{ W} = 212,4 \text{ kW}$$

- Energia consumida atualmente
 - Energia mensal consumida fora de ponta seca: $212,4 \times 231 = 49.064 \text{ kWh}$
 - Energia mensal consumida na ponta seca: $212,4 \times 55 = 11.682 \text{ kWh}$
 - Energia mensal consumida fora de ponta úmida: $212,4 \times 231 = 49.064 \text{ kWh}$
 - Energia mensal consumida na ponta úmida: $212,4 \times 55 = 11.682 \text{ kWh}$
- Potência instalada futura: 80,4 kW

$$P_{nu} = 1.860 \times (32 + 9,9) + 98 \times (16 + 9,3) = 80.413 \text{ W} = 80,4 \text{ kW}$$

- Energia a ser consumida no futuro
 - Energia mensal consumida fora de ponta seca: $80,4 \times 231 = 18.572 \text{ kWh}$
 - Energia mensal consumida na ponta seca: $80,4 \times 55 = 4.422 \text{ kWh}$
 - Energia mensal consumida fora de ponta úmida: $80,4 \times 231 = 18.572 \text{ kWh}$
 - Energia mensal consumida na ponta úmida: $80,4 \times 55 = 4.422 \text{ kWh}$
- Vida útil das lâmpadas fluorescentes: 7.500 horas: 10,4 meses
- Custo de troca de uma lâmpada fluorescentes: US\$ 0,70
- Custo de retirada de uma luminária: US\$ 1,10
- Custo de instalação de uma luminária: US\$ 1,30
- Custo de troca de um reator: US\$ 1,44
- Preço de uma lâmpada fluorescente de 40 W: US\$ 2,17
- Preço de uma lâmpada fluorescente de 20 W: US\$ 1,20
- Preço de uma lâmpada fluorescente de 32 W: US\$ 3,41

- Preço de uma lâmpada fluorescente de 16 W: US\$ 3,20
- Preço de um reator eletromagnético de 40 W: US\$ 3,00
- Preço de um reator eletromagnético de 20 W: US\$ 2,80
- Preço de um reator eletrônico de 32 W: US\$ 6,58
- Preço de um reator eletrônico de 16 W: US\$ 5,82
- Vida útil dos reatores eletromagnéticos: 25.000 horas: 34,7 meses
- Vida útil dos reatores eletrônicos: 80.000 horas: 111,1 meses
- Tempo de garantia dos reatores eletrônicos: 5 anos
- Quantidade de lâmpadas 40 W substituídas/mês: $3.720/10,4 = 357,6$
- Quantidade de lâmpadas de 20 W substituídas/mês: $196/10,4 = 18,8$
- Quantidade de lâmpadas 32 W substituídas/mês: $1.860/10,4 = 178,8$
- Quantidade de lâmpadas de 16 W substituídas/mês: $98/10,4 = 9,4$
- Quantidade de reatores de 40 W substituídos/mês: $3.720/34,7 = 107,2$
- Quantidade de reatores de 20 W substituídos/mês: $196/34,7 = 5,64$
- Quantidade de reatores de 32 W substituídos/mês: $1.860/111,1 = 16,7$
- Quantidade de reatores de 16 W substituídos/mês: $98/111,1 = 0,88$
- Custo de substituição do corpo refletor da luminária: US\$ 3,20/luminária
- Taxa de juros mensais: 2%
- Tarifa de energia paga pela indústria (tarifa azul)
 - Demanda fora do período de ponta: US\$ 3,23/MW
 - Demanda no período de ponta: US\$ 9,81/MW
 - Consumo no período ponta seca: US\$ 65,31/MWh
 - Consumo fora período de ponta seca: US\$ 31,73/MWh
 - Consumo no período ponta úmida: US\$ 60,24/MWh
 - Consumo fora período ponta úmida US\$ 28,08/MWh

b) Custo do investimento inicial do sistema novo

• Material		
- Lâmpada de 32 W: $1.860 \times 3,41$	US\$	6.342,60
- Lâmpada de 16 W: $98 \times 3,2$	US\$	313,60
- Reatores de 32 W: $1.860 \times 4,58$	US\$	12.424,80
- Reatores de 16 W: $98 \times 5,82$	US\$	570,36
- Subtotal	US\$	19.650,36
• Custo de mão-de-obra		
- Retirada das luminárias: $(1.860 + 98) \times 1,10$	US\$	2.153,80
- Instalação das luminárias: $(1.860 + 98) \times 1,30$	US\$	2.545,40
- Substituição do corpo refletor: $(1.860 + 98) \times 3,20$	US\$	6.265,60
- Subtotal	US\$	10.964,80
• Total	US\$	30.616,16

c) Custo anual de manutenção do sistema novo

• Material		
- Lâmpada de 32 W: $178,8 \times 3,41 \times 12$	US\$	7.316,49
- Lâmpada de 16 W: $9,4 \times 3,2 \times 12$	US\$	360,96
- Subtotal	US\$	7.677,45
- Reatores de 32 W: $16,7 \times 6,58 \times 12$	US\$	1.318,63
- Reatores de 16 W: $0,88 \times 5,82 \times 12$	US\$	61,45
- Subtotal	US\$	1.380,08
• Total	US\$	9.057,53
• Mão-de-obra para substituição		
- Lâmpada de 32/16 W: $(178,8 + 9,4) \times 0,70 \times 12$	US\$	1.580,88
- Reatores de 32 W: $(16,7 + 0,88) \times 1,10 \times 12$	US\$	303,78
- Subtotal	US\$	1.884,66
• Total anual	US\$	10.469,66
• Total mensal	US\$	872,47

d) Custo anual de manutenção do sistema existente

• Material		
- Lâmpada de 40 W: $357,6 \times 2,17 \times 12$	US\$	9.311,90
- Lâmpada de 20 W: $18,8 \times 1,20 \times 12$	US\$	270,72
- Reatores de 40 W: $107,2 \times 3,00 \times 12$	US\$	3.859,20
- Reatores de 20 W: $5,64 \times 2,80 \times 12$	US\$	189,50
- Subtotal	US\$	13.631,32
• Mão-de-obra para substituição		
- Lâmpada de 40/20 W: $(357,6 + 18,8) \times 0,70 \times 12$	US\$	3.161,76

- Reator de 40/20 W: $(107,2 + 5,64) \times 1,44 \times 12$	US\$ 1.949,87
- Subtotal	US\$ 5.111,63
• Total anual	US\$ 18.742,95
• Total mensal	US\$ 1.561,91

Para se determinar a receita resultante do investimento, deve-se calcular o valor médio anual da energia, considerando as tarifas de ponta e fora de ponta, nos períodos seco e úmido relativamente ao sistema existente e após executadas as ações de eficiência. Os custos médios podem ser determinados a partir das planilhas de cálculo das Tabelas 15.8 e 15.9.

Através da planilha de cálculo da Tabela 15.10 determina-se o tempo de retorno de investimento, que é de seis meses, e que pode ser constatado por meio da Figura 15.4.

TABELA 15.8

Custo anual da energia do sistema existente

Custo Anual de Energia — Tarifa Azul									
Tarifa com ICMS			Período		Demanda	Consumo		Demanda/Consumo	
Descrição	(US\$/kW)	(US\$/MWh)	(Horas/mês)	(Mês/ano)	(kW)	(kWh/mês)	(kWh/ano)	(US\$/mês)	(US\$/ano)
Demanda FP	3,230	-	-	12	212,4	-	-	686,05	8.232,62
Demanda P	9,810	-	-	12	212,4	-	-	2.083,64	25.003,73
Consumo FPS	-	31,73	-	7	-	49,064	343,448	1,556,80	10.897,61
Consumo PS	-	65,31	-	7	-	11,682	81,774	762,95	5.340,66
Consumo FPU	-	28,08	-	5	-	49,064	245,320	1,377,72	6.888,59
Consumo PU	-	60,24	-	5	-	11,682	58,410	703,72	3.518,62
Total Anual							728,952	-	59.881,82
Total Mensal (US\$/mês)									4.990,15
Tarifa Média Mensal (US\$/MWh)									82,15

TABELA 15.9

Custo anual da energia do sistema novo

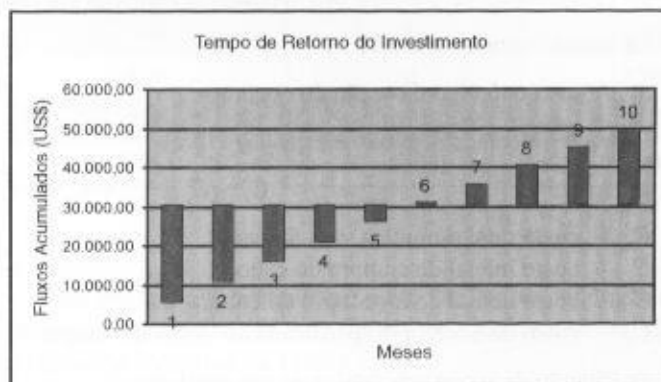
Custo Anual de Energia — Tarifa Azul									
Tarifa com ICMS			Período		Demanda	Consumo		Demanda/Consumo	
Descrição	(US\$/kW)	(US\$/MWh)	(Horas/mês)	(Mês/ano)	(kW)	(kWh/mês)	(kWh/ano)	(US\$/mês)	(US\$/ano)
Demanda FP	3,230	-	-	12	80,4	-	-	259,69	3.116,30
Demanda P	9,810	-	-	12	80,4	-	-	788,72	9.464,69
Consumo FPS	-	31,73	-	7	-	18,572	130,004	589,29	4.125,03
Consumo PS	-	65,31	-	7	-	4,422	30,954	288,80	2.021,61
Consumo FPU	-	28,08	-	5	-	18,572	92,860	521,50	2.607,51
Consumo PU	-	60,24	-	5	-	4,422	22,110	266,38	1.331,91
Total Anual							275,928	-	22.667,04
Total Mensal (US\$/mês)									1.888,92
Tarifa Média Mensal (US\$/MWh)									82,15

TABELA 15.10

Valor Presente Líquido

Calculo do VPL (Anual)							
Investimento (US\$)							30.616,16
Taxa de Juros Mensais (2%)							1,0200
Mês	Sistema Existente		Sistema Novo		Receitas (US\$)	Fluxo Atualizado (US\$)	Fluxo Acumulado (US\$)
	Energia	O&M	Energia	O&M			
1	4.990,15	1.561,91	1.888,92	872,47	5.535,61	5.427,07	5.427,07
2	4.990,15	1.561,91	1.888,92	872,47	5.535,61	5.320,66	10.747,72
3	4.990,15	1.561,91	1.888,92	872,47	5.535,61	5.216,33	15.964,05
4	4.990,15	1.561,91	1.888,92	872,47	5.535,61	5.114,05	21.078,10
5	4.990,15	1.561,91	1.888,92	872,47	5.535,61	5.013,77	26.091,87
6	4.990,15	1.561,91	1.888,92	872,47	5.535,61	4.915,46	31.007,34
7	4.990,15	1.561,91	1.888,92	872,47	5.535,61	4.819,08	35.826,42
8	4.990,15	1.561,91	1.888,92	872,47	5.535,61	4.724,59	40.551,01
9	4.990,15	1.561,91	1.888,92	872,47	5.535,61	4.631,95	45.182,96
10	4.990,15	1.561,91	1.888,92	872,47	5.535,61	4.541,13	49.724,09

FIGURA 15.4
Gráfico do tempo de retorno do investimento



15.3.2 Condutores Elétricos

O dimensionamento dos condutores elétricos, incluindo a escolha de sua isolamento, pode conduzir projetos de baixa perdas elétricas.

Esse assunto foi abordado no Capítulo 3, sem a preocupação quanto à eficiência na determinação da seção dos condutores.

As principais ações que devem ser desenvolvidas são:

- a) Dimensionamento da seção dos condutores
 - Corrente de carga
 - Queda de tensão
 - Curto-circuito
- b) Medidas para conservação de energia
 - implantar transformadores junto aos centros de consumo: menor comprimento dos circuitos secundários;

- calcular os custos do cabo e a energia de perda;
- potências acima de 500 kVA adotar, se possível, a subestação próxima à carga;
- evitar o uso de cabos XLPE ou EPR, a plena carga contínua, de acordo com a capacidade dos mesmos. A elevação de temperatura do condutor faz crescer a resistência elétrica, conforme valores definidos na Tabela 15.11;
- aplicar a melhor maneira de instalar os condutores de forma permitida para cada particularidade do projeto.

TABELA 15.11

Elevação da resistência elétrica dos condutores de cobre com a temperatura

Fator de Correção de Temperatura	
Temperatura (°C)	Fator de Correção
20	1
30	1,039
40	1,079
50	1,118
60	1,157
70	1,197
80	1,236
90	1,275

c) Temperatura de trabalho dos condutores elétricos em função do carregamento

De acordo com a Tabela 15.11.

d) Valor econômico da seção do condutor

Podem ser calculados segundo a Equação (15.2).

$$C_t = C_c + C_i + C_e \quad (15.2)$$

- C_t – custo total durante a vida do cabo;
 C_c – custo inicial de compra do cabo;
 C_i – custo inicial de instalação do cabo;
 C_e – custo de energia desperdiçada ao longo do tempo.

e) Cálculo da seção econômica de um condutor

Podem ser calculados de acordo com a Equação (15.3).

$$S_c = \frac{I_c}{\frac{2,66}{\sqrt{N_h}} \times \frac{0,69}{\sqrt{1 - 0,937^{N_a}}}} \times \sqrt{\frac{C_c}{G}} \quad (15.3)$$

- I_c – corrente de carga;
 N_a – número de anos considerado no cálculo que corresponde ao tempo de operação do cabo;
 N_h – número de horas por ano de funcionamento;
 G – custo médio do cabo em US\$/mm² × km; esse valor pode ser obtido através do preço médio de mercado dos cabos de mesmo material condutor e isolamento; assim, se um cabo de cobre de 120 mm², isolamento EPR, 06/1 kV, tem preço médio de mercado de US\$ 14,80/m, $G = \text{US\$ } 123,33/\text{mm}^2 \times \text{km}$, ou seja: $\frac{14,80}{120} \times 1.000$. Em geral, o valor de G vale para os cabos das demais seções e de mesma especificação;
 C_e – custo médio da energia elétrica, em US\$/kWh.

TABELA 15.12

Temperatura de trabalho dos condutores isolados em função do carregamento

Relação I/I_{cabo}	Temperatura °C	Relação I/I_{cabo}	Temperatura °C
Cabo XLPE/EPR			
0,00	30	1,00	90
0,10	32	1,10	105
0,20	35	1,20	117
0,30	38	1,30	130
0,40	45	1,40	145
0,50	50	1,50	165
0,60	60	1,60	182
0,70	70	1,70	205
0,80	80	1,80	218
0,90	90	1,90	240
Cabo PVC			
0,00	30	1,00	70
0,10	31	1,10	85
0,20	34	2,20	100
0,30	36	2,30	112
0,40	38	2,40	112
0,50	42	2,50	128
0,60	48	2,60	138
0,70	52	2,70	150
0,80	57	2,80	170
0,90	65	2,90	180

Para que se possa realizar um estudo da seção econômica dos condutores de uma instalação, é necessário levantar os dados de campo dos circuitos a serem trabalhados, o que pode ser feito através da planilha fornecida na Tabela 15.13.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (15.3)

Determinar a seção econômica de um condutor, cuja carga é de 210 A e funciona 13 horas ao dia durante 22 dias ao mês. A tarifa média de energia elétrica da instalação é de US\$ 80,00/MWh. O tempo de operação considerado para o cabo é de 10 anos.

$$S_c = \frac{210}{\frac{2,66}{\sqrt{13 \times 22 \times 12}} \times \frac{0,69}{\sqrt{1 - 0,937^{10}}}} \times \sqrt{\frac{80/1.000}{123,33}}$$

$$S_c = 118 \text{ mm}^2 \text{ (seção mínima)}$$

$$S_c = 120 \text{ mm}^2$$

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (15.4)

Calcular a alternativa de alimentação de uma carga de 210 A utilizando inicialmente um circuito em condutor XLPE e comprimento de 175 m, instalado em canaleta fechada ou adotando um condutor de PVC de capacidade equivalente. A instalação opera 13 horas ao dia durante 22 dias ao mês. A indústria é do grupo tarifário convencional. Adotar uma taxa de juro de 2% ao mês.

- a) Condutor de isolamento PVC (70°C)

- Seção

$$I_{car} = 210 \text{ A} \rightarrow S_{sc} = 150 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{sc} = 230 \text{ A}$$

- Carregamento

$$R_l = \frac{210}{230} = 0,91 \rightarrow T = 65^\circ\text{C} \text{ (Tabela 15.12)}$$

- Fator de correção da resistência

$$T = 65^\circ\text{C} \rightarrow F_{cr} = 1,177 \text{ (valor interpolado da Tabela 15.11)}$$

- Perda ôhmica de potência no condutor

$$P_{ca} = \frac{3 \times R \times F_{cr} \times I^2}{1.000}$$

$$P_{ca} = \frac{3 \times 0,150 \text{ } \Omega/\text{km} \times 1,177 \times 0,175 \text{ km} \times 210^2}{1.000}$$

$$P_{ca} = 4 \text{ kW}$$

- Perda ôhmica de energia no condutor

$$E = P_{ca} \times T = 4 \times 13 \times 22 = 1.144 \text{ kWh/mês}$$

- Custo mensal de energia (tarifa convencional A4)

$$C_{150} = 4 \times \text{US\$ } 4,19/\text{kW} + 1.144 \times \text{US\$ } 53,07/1.000 \text{ kWh}$$

$$C_{150} = \text{US\$ } 77,47$$

Os valores das tarifas podem ser obtidos no Capítulo 1, Tabela 1.11

- b) Condutor de isolamento XLPE ou EPR 90°C

- Seção

$$I_{car} = 210 \text{ A} \rightarrow S_{sc} = 95 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{sc} = 211 \text{ A}$$

- Carregamento

$$R_l = \frac{210}{211} = 0,99 \rightarrow T = 90^\circ\text{C} \text{ (Tabela 15.12)}$$

- Fator de correção da resistência

$$T = 90^\circ\text{C} \rightarrow F_{cr} = 1,275$$

- Perda ôhmica de potência no condutor

$$P_{ca} = \frac{3 \times R \times F_{cr} \times I^2}{1.000}$$

$$P_{ca} = \frac{3 \times 0,2352 \text{ } \Omega/\text{km} \times 1,275 \times 0,175 \text{ km} \times 210^2}{1.000}$$

$$P_{ca} = 6,9 \text{ kW}$$

- Perda ôhmica de energia no condutor

$$E = P_{ca} \times T = 6,9 \times 13 \times 22 = 1.973 \text{ kWh/mês}$$

- Custo mensal de energia (tarifa convencional A4)

$$C_{95} = 6,9 \times \text{US\$ } 4,19/\text{kW} + 1.973 \times \text{US\$ } 53,07/1.000 \text{ kWh}$$

$$C_{95} = \text{US\$ } 133,61$$

c) Diferença mensal na fatura

$$\Delta C = 133,61 - 77,47 = \text{US\$ } 56,14$$

d) Diferença de investimentos

- Preço do cabo instalado de 150 mm²/PVC: US\$ 8,43/m
- Preço do cabo instalado de 95 mm²/XLPE: US\$ 7,93/m

$$P_c = (8,43 - 7,93) \times 175 \text{ m} \times 3 = \text{US\$ } 262,50$$

e) Tempo de retorno do investimento

De acordo com a planilha de cálculo da Tabela 15.14, o tempo de retorno do investimento é de cinco meses, conforme visto na Figura 15.5.

O gráfico da Figura 15.5, originário da Tabela 15.4, permite também determinar o tempo do retorno do investimento, que é de pouco mais que cinco meses.

TABELA 15.14

Cálculo do Valor Presente Líquido

Cálculo do VPL (Mensal)							
Investimento (US\$)							262,00
Taxa de Juros Mensais (2%)							1,0200
Mês	Condutor de XLPE		Condutor PVC		Receitas (US\$)	Fluxo Atualizado (US\$)	Fluxo Acumulado (US\$)
	Energia Consumida (US\$)	O&M (US\$)	Energia Consumida (US\$)	O&M (US\$)			
1	133,61	0,00	77,47	0,00	56,14	55,04	55,04
2	133,61	0,00	77,47	0,00	56,14	53,96	109,00
3	133,61	0,00	77,47	0,00	56,14	52,90	161,90
4	133,61	0,00	77,47	0,00	56,14	51,86	213,77
5	133,61	0,00	77,47	0,00	56,14	50,85	264,61
6	133,61	0,00	77,47	0,00	56,14	49,85	314,46
7	133,61	0,00	77,47	0,00	56,14	48,87	363,34
8	133,61	0,00	77,47	0,00	56,14	47,91	411,25
9	133,61	0,00	77,47	0,00	56,14	46,98	458,23
10	133,61	0,00	77,47	0,00	56,14	46,05	504,28

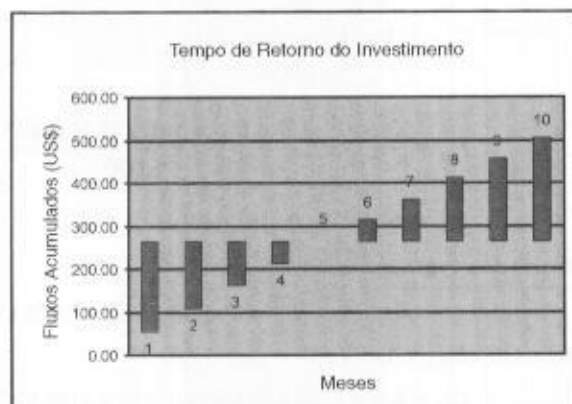


FIGURA 15.5

Tempo de retorno do investimento

15.3.3 Correção do Fator de Potência

Em todo estudo de eficiência energética de uma instalação é de fundamental importância o controle do fator de potência, cujo assunto foi tratado no Capítulo 4.

15.3.4 Motores Elétricos

Os motores elétricos numa instalação industrial consomem, em média, 75% da energia demandada. Por isso, devem ser motivo de avaliações periódicas para determinar se estão operando na faixa de melhor desempenho. Em geral, para motores de potência nominal não superior a 100 cv são válidas as seguintes informações constatadas pelos catálogos dos fabricantes:

- quanto maior a sua potência nominal, mais elevado é o seu rendimento máximo;
- os motores, em geral, operam com o seu rendimento máximo quando carregados a 75% da sua potência nominal;
- os motores que operam com uma taxa de carregamento igual ou inferior a 50% de sua potência nominal apresentam um rendimento acentuadamente declinante;
- os motores que operam com uma taxa de carregamento igual ou superior a 75% de sua potência nominal apresentam um rendimento próximo a seu rendimento máximo.

A especificação, a utilização e os cuidados com os motores elétricos podem resultar na eliminação ou redução dos desperdícios de energia elétrica, ou seja:

- substituir os motores elétricos que operam com carga inferior a 60% de sua capacidade nominal (relação entre a potência útil e a potência nominal);
- instalar inversores nos motores elétricos de indução que operam por um longo período de tempo com carga de potência variável, tais como ventiladores, compressores etc;
- instalar inversores nos motores utilizados nas estações de tratamento de esgoto nos períodos de baixo consumo.

A Figura 15.6 mostra a característica de desempenho de um motor elétrico de indução 175 cv/IV pólos, tipo *standard*. Já a Figura 15.7 mostra a curva de desempenho de um motor de 50 cv/IV pólos, do tipo alto rendimento.

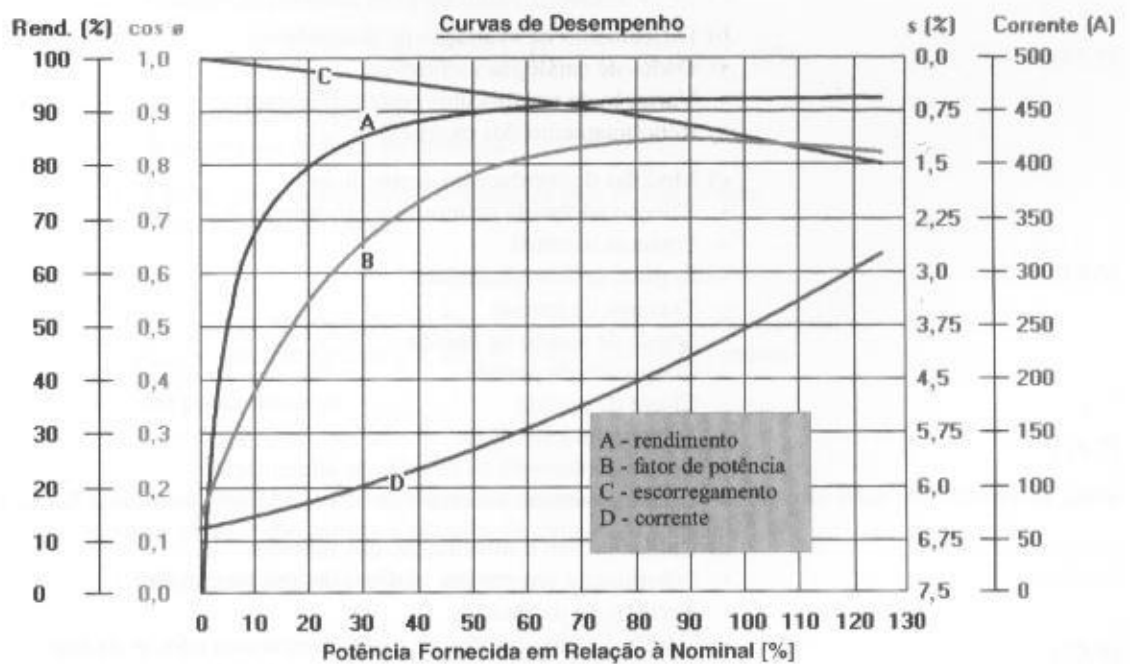
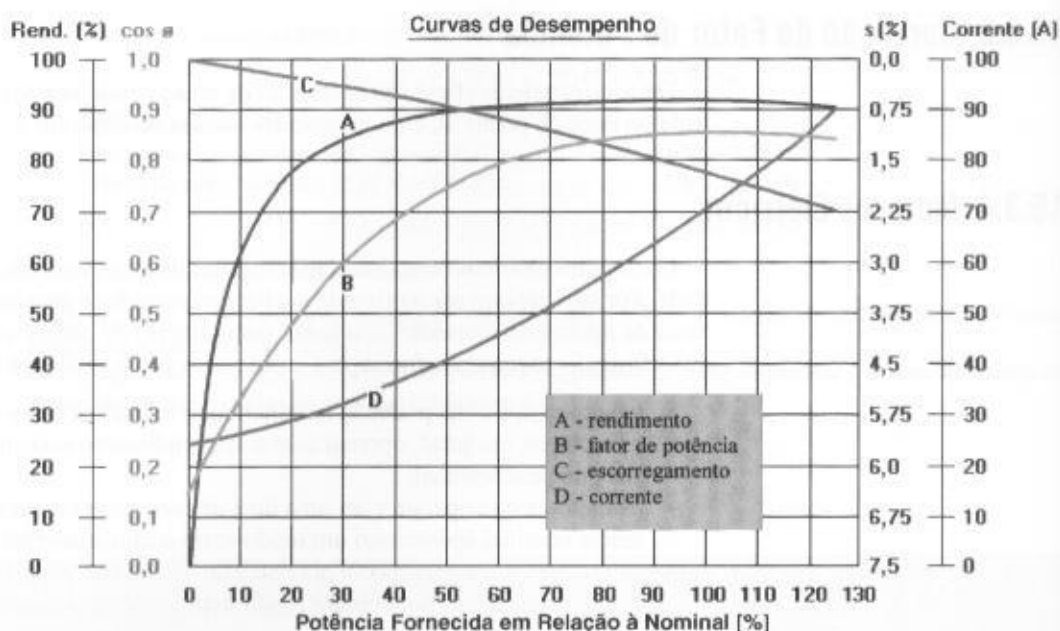


FIGURA 15.6
Curva de desempenho do motor de 175 cv/IV pólos

FIGURA 15.7
Curva de desempenho do motor
alto rendimento de 50 cv/IV
pólos



Para se determinar o potencial de economia de energia elétrica que pode ser obtida na operação dos motores elétricos seguir a orientação.

- a) Avaliação do desperdício de energia elétrica
 - Baixa qualidade da energia fornecida
 - Dimensionamento inadequado do motor
 - Tensão elétrica inadequada
 - Utilização inadequada do motor
 - Condições operativas inadequadas
 - Condições de manutenção inadequadas
 - Baixo fator de potência do motor
 - Transmissão motor-máquina desajustada
 - Temperatura ambiente elevada
- b) Dificuldades de avaliação de desperdícios
 - Dados de catálogos incorretos
 - Variação de rendimentos entre fabricantes
 - Rebobinamento dos motores
- c) Medidas de combate ao desperdício
 - Seleção adequada do motor relativamente à:
 - Potência nominal
 - Regime de funcionamento
 - Corrente de partida
 - Queda de tensão na partida
 - Conjugado de partida
 - Chave de partida
 - Temperatura ambiente
 - Dimensionamento do circuito de alimentação
 - Dimensionamento econômico dos condutores, conforme Seção 15.3.2.
- d) Cuidados com a substituição dos motores
 - Substituição sempre por motores de alto rendimento
 - Verificação da rotação
 - Verificação das tensões de placa comparadas com as da rede
 - Verificação do número de partidas por hora
 - Regime de funcionamento do motor
 - Capacidade da chave de partida

- Capacidade do condutor de alimentação
 - Redimensionamento da proteção
- e) Potencial de economia dos motores

Para se determinar o potencial de economia dos motores elétricos de uma instalação específica, devem-se implementar os seguintes procedimentos:

- Listar os motores de maior potência nominal
 - Potência nominal
 - Tensão de operação
 - Conjugado de partida
 - Regime de operação
- Medir a corrente nas condições normais de trabalho
- Analisar a curva de desempenho do motor
 - Fator de potência
 - Rendimento para a corrente medida

O potencial de economia de energia elétrica pode ser analisado em três diferentes situações operacionais do motor, ou seja:

15.3.4.1 Avaliação da substituição de motores do tipo *standard* em subcarga

Neste caso, foi constatado que o motor em operação era do tipo *standard* e operava com carga visivelmente inferior à sua capacidade nominal. Esse motor deverá ser substituído por motor de alto rendimento com potência adequada à carga.

O potencial de economia pode ser obtido de acordo com o roteiro de cálculo que se segue:

- a) Análise operacional do motor existente (motor *standard*)
- Cálculo da relação de subcarga

$$\Delta I\% = \frac{I_{op1}}{I_{nom1}} \quad (15.4)$$

I_{op1} – corrente operacional (de trabalho) do motor *standard*, em A;

I_{nom1} – corrente nominal do motor *standard*, em A.

- Cálculo da potência ativa do motor *standard*

$$P_{a1} = \sqrt{3} \times V_{op} \times I_{op1} \times \cos \psi \quad (\text{kW}) \quad (15.5)$$

V_{op} – tensão de operação, em V;

ψ – ângulo de fator de potência.

- Cálculo da energia mensal consumida pelo motor ao mês
 - Fora de ponta de carga

$$E_{1p} = P_{a1} \times N_{hd} \times N_{dm} \quad (\text{kWh}) \quad (15.6)$$

N_{hd} – número de horas de funcionamento por dia fora de ponta;

N_{dm} – número de dias por mês de funcionamento do motor.

- Na ponta de carga

$$E_{ip} = P_{a1} \times 66 \quad (\text{kWh}) \quad (15.7)$$

Como alternativa, pode-se determinar o custo médio mensal, com base nos valores de tarifa horo-sazonais, como mostra a planilha de cálculo da Tabela 15.16.

- cálculo da potência útil do motor

$$P_{u1} = \frac{P_{a1} \times \eta_1}{0,736} \quad (\text{cv}) \quad (15.8)$$

η_1 – Rendimento do motor

- Relação entre a potência útil e a potência nominal

$$\Delta I_{un} = \frac{P_{u1}}{P_{nm1}} \quad (15.9)$$

Se $\Delta I_{un} \geq 0,60 \rightarrow$ não existe potencial de economia de energia elétrica e, portanto, não se deve prosseguir na análise.

Se $\Delta I_{un} < 0,60 \rightarrow$ existe potencial de economia de energia elétrica.

- b) Seleção da potência nominal do novo motor de alto rendimento

$$P_{nm2} = (1,1 \text{ a } 1,3) \times P_{u1} \text{ (cv)} \quad (15.10)$$

- Cálculo da relação de subcarga do motor de alto rendimento

$$\Delta I\% = \frac{I_{op2}}{I_{nm2}} \quad (15.11)$$

I_{op2} – corrente operacional do motor de alto rendimento, em A; o valor dessa corrente é determinado através do gráfico de desempenho do motor, conforme Figura 15.7.

I_{nm2} – corrente nominal do motor de alto rendimento, em A.

- Cálculo da potência ativa do motor de alto rendimento

$$P_{a2} = \sqrt{3} \times V_{op} \times I_{op2} \times \cos \psi \text{ (kW)} \quad (15.12)$$

- Cálculo da redução da potência ativa com o novo motor

$$\Delta P_a = P_{a1} - P_{a2}$$

- Cálculo da energia consumida pelo mês

– Fora de ponta de carga

$$E_{2fp} = P_{a2} \times N_{horas} \times N_{dias} \text{ (kWh)} \quad (15.13)$$

– Na ponta de carga

$$E_{2p} = P_{a2} \times 66 \quad (15.14)$$

Como alternativa, pode-se determinar o custo médio mensal, com base nos valores de tarifa sazonais, como mostra a planilha de cálculo da Tabela 15.17.

- Cálculo da redução do custo da fatura mensal

$$\Delta C = CE_1 - CE_2 \quad (15.15)$$

CE_1 – custo médio da energia do motor *standard*, dado na planilha de cálculo da Tabela 15.16;

CE_2 – custo médio da energia do motor de alto rendimento, dado na planilha de cálculo da Tabela 15.17.

- Determinação do tempo de retorno do investimento

Aplicar a planilha de cálculo que determina o Valor Presente Líquido.

Durante o levantamento em campo dos motores que devem ser estudados para determinar a economicidade de sua substituição pode ser utilizada a planilha da Tabela 15.15.

Deve-se considerar como econômico, para fins práticos de mercado, um tempo de retorno de investimento não superior a cinco anos.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (15.5)

Calcular o potencial de economia encontrado na operação de um motor elétrico antigo, sem valor comercial, tipo *standard*, com potência nominal de 175 cv/380 V/1V pólos, instalado numa indústria trabalhando em subcarga. Simular a substituição deste motor por outro de menor potência e alto rendimento, sabendo-se que o seu regime de funcionamento é S1. O consumidor é do grupo tarifário horo-sazonal azul, segmento A4. A indústria trabalha 24 horas durante 30 dias ao mês.

- Corrente medida nos terminais do motor: 81,5 A
- Tarifas de energia pagas pela indústria (tarifa azul)
- Demanda fora do período de ponta: US\$ 3,23/MW
- Demanda no período de ponta: US\$ 9,81/MW
- Consumo no período de ponta seco: US\$ 65,31/MWh
- Consumo fora período de ponta seco: US\$ 31,73/MWh
- Consumo no período de ponta úmido: US\$ 60,24/MWh
- Consumo fora período de ponta úmido US\$ 28,08/MWh
- Preço do motor *standard*: US\$ 150,00 (valor depreciado)
- Características de placa do motor *standard* de 180 cv
- Corrente nominal: 255 A
- Fator de potência nominal: 0,85 (a 100% da potência nominal)
- Rendimento nominal: 92,7 (a 100% da potência nominal)
- Taxa anual de juros: 16%

a) Cálculo da relação de subcarga do motor *standard*

$$\Delta I\% = \frac{81,5}{255} \times 100 = 31,9\%$$

- Fator de potência: 0,66 para 31,9% de carregamento (gráfico do motor visto na Figura 15.6)
- Rendimento: 0,85 para 31% de carregamento (gráfico do motor visto na Figura 15.6)

a) Cálculo da potência ativa do motor *standard*

$$P_a = \sqrt{3} \times V_{op} \times I_{op} \times \cos \psi$$

$$P_{a1} = \sqrt{3} \times 0,38 \times 81,5 \times 0,66 = 35,4 \text{ kW}$$

b) Energia mensal consumida

- Fora da hora de ponta

$$CE_{fp} = 35,4 \times 21 \times 30 + 35,4 + 4 \times 2 \times 24 = 29.098 \text{ kWh} = 29,0 \text{ MWh}$$

O valor $(35,4 \times 4 \times 2 \times 24)$ corresponde à energia mensal consumida aos sábados e domingos

- Hora de ponta

$$CE_{fp} = 35,4 \times 66 = 2.336 \text{ kWh} = 2,3 \text{ MWh}$$

c) Cálculo da potência útil do motor

$$P_{u1} = \frac{P_{a1} \times \eta_1}{0,736} = \frac{35,4 \times 0,85}{0,736} = 40,8 \text{ cv}$$

d) Relação entre a potência útil e a potência nominal

$$R = \frac{P_u}{P_n} = \frac{40,8}{175} = 0,233$$

Para R inferior a 0,6 existe potencial de economia.

e) Seleção do motor de alto rendimento

$$P_{av} = 1,2 \times P_{u1} = 1,2 \times 40,8 \times 48,9 \text{ cv}$$

- Potência selecionada: 50 cv
- Corrente nominal: 71,2 A
- Rendimento: 0,93 (a 100% da potência nominal)
- Fator de potência: 0,85 (a 100% da potência nominal)
- Custo do motor: US\$ 3.240,00 (preço do motor + instalação)

f) Relação de subcarga do motor de alto rendimento

$$\Delta C = \frac{40,8}{50} \times 100 = 81,6\%$$

g) Potência ativa do motor de alto rendimento

$$P_{a2} = \sqrt{3} \times 0,38 \times 58 \times 0,83 = 31,6 \text{ kW}$$

TABELA 15.15

Dados a serem levantados dos motores elétricos (exemplo numérico)

Levantamento de Dados dos Motores Elétricos							
Cliente:							
Unidade:							
Identificação do Motor:							
Item	Dados	Unid.	Motor				
			1	2	3	4	5
1	Quantidade	ud	1	1	5	1	3
2	Modelo	-	ND	ND	ND	ND	ND
3	Fabricante		WEG	WEG	WEG	WEG	WEG
4	Potência nominal	cv	30	5	2,5	10	50
5	Tensão nominal	V	440	440	440	440	440
6	Fator de serviço	-	1,15	ND	ND	ND	1,15
7	Frequência nominal	Hz	60	60	60	60	60
8	Rotação nominal	rpm	1765	ND	1750	ND	ND
9	Conjugado nominal	Nm	ND	ND	ND	ND	ND
10	Conjugado de partida	x Cn	ND	ND	ND	ND	ND
11	Conjugado máximo	x Cn	ND	ND	ND	ND	ND
12	Condições de carga	%	ND	ND	ND	ND	ND
13	Fator de potência	-	0,83	ND	ND	ND	0,85
14	Rendimento	-	90,5	ND	ND	ND	92,5
15	Corrente nominal	A	18,5	ND	ND	ND	ND
16	Corrente de partida a 100% da tensão	A	ND	ND	ND	ND	ND
17	Corrente de partida a 60% e 80% da tensão	A	ND	ND	ND	ND	ND
18	Corrente com rotor bloqueado	A	ND	ND	ND	ND	ND
19	Potência de partida	kVA	ND	ND	ND	ND	ND
20	Tipo de ligação do estator	-	ESTRELA	ESTRELA	ESTRELA	ESTRELA	ESTRELA
21	Número de terminais do estator	Ud	3	3	3	3	3
22	Número de partidas permissíveis	Ud	NI	NI	NI	NI	NI
23	Tempo máximo permitido p/cada partida	s	NI	NI	NI	NI	NI
24	Classe de isolação	-	N	N	N	N	N
25	Elevação de temperatura c/FS 1,0	°C	ND	ND	ND	ND	ND
26	Elevação de temperatura c/FS 1,15	°C	ND	ND	ND	ND	ND
27	Normas gerais aplicadas	-	NBR7094	NBR7094	NBR7094	NBR7094	NBR7094
28	Tipo de proteção/refrigeração	-	IP 55	IP 56	IP 57	IP 58	IP 59
29	Tipo de construção	-	ND	ND	ND	ND	ND
30	Tipo de mancais	-	ROLAMENTO	ROLAMENTO	ROLAMENTO	ROLAMENTO	ROLAMENTO
31	Lubrificação dos mancais	-	GRAXA	GRAXA	GRAXA	GRAXA	GRAXA
32	Momento de inércia	kgf·m	ND	ND	ND	ND	ND
33	Sentido de rotação	-	HORÁRIO	HORÁRIO	HORÁRIO	HORÁRIO	ANTI-HOR
34	Peso aproximado	kg	160				
35	Número horas de operações por dia	-	24	24	24	24	24

(continua)

TABELA 15.15

Dados a serem levantados dos motores elétricos (exemplo numérico) (continuação)

Levantamento de Dados dos Motores Elétricos							
Cliente:							
Unidade:							
Identificação do Motor:							
Item	Dados	Unid.	Motor				
			1	2	3	4	5
36	Tempo de uso do motor	-					
	<i>Menos de 1 ano</i>	-				X	
	<i>Mais de 1 ano e inferior a 5 anos</i>	-	X	X	X		
	<i>Igual ou superior a 5 anos</i>	-					X
37	Estado de conservação do motor	-					
	<i>Original</i>	-					X
	<i>Enrolado 1 vez</i>	-	X				
	<i>Enrolado mais de 1 vez</i>	-		X	X	X	
38	Estado de conservação do CCM	-					
	<i>Excelente</i>	-					
	<i>Bom</i>	-		X	X	X	X
	<i>Regular</i>	-	X				
39	<i>Ruim</i>	-					
	Tipo de chave de partida	-					
	<i>Contator/relé térmico</i>	-	X				X
	<i>Disjuntor</i>	-		X	X	X	
	<i>Estrela-triângulo</i>	-					
	<i>Compensadora</i>	-					
40	<i>Softstarter</i>	-					X
	Proteção contra curto-circuito	-					
	<i>Fusível NH/TDZ</i>	-	X				X
41	<i>Disjuntor termomagnético</i>	-		X	X	X	
	Proteção sobrecarga	-					
	<i>Relé térmico</i>	-	X				
42	<i>Disjuntor termomagnético</i>	-		X	X	X	X
	Valores das correntes de ajuste da proteção	-					
	<i>Sobrecarga</i>	-	32	5,8	ND	ND	63
	<i>Curto-circuito</i>	-	ND	ND	ND	ND	ND

NOTAS X - OPÇÃO APLICÁVEL; NI - NÃO INFORMADO; ND - NÃO DISPONÍVEL; NC - NÃO CONFORMIDADE

- Corrente de operação: 58 A (gráfico do motor visto na Figura 15.7)
- Fator de potência: 0,83 (gráfico do motor visto na Figura 15.7)
- Rendimento: 0,92 (gráfico do motor, visto na Figura 15.7)

h) Redução da potência ativa

$$\Delta P_a = P_{a1} - P_{a2}$$

$$\Delta P_a = 35,4 - 31,6 = 3,8 \text{ kW}$$

i) Energia mensal consumida

- Fora da hora de ponta

$$C_1 = 31,6 \times 21 \times 30 + 31,6 \times 4 \times 2 \times 24 = 25.975 \text{ kWh} = 25,9 \text{ MWh}$$

- Hora de ponta

$$C_1 = 31,6 \times 3 \times 22 = 2.085 \text{ kWh} = 2,0 \text{ MWh}$$

j) Redução de custo médio mensal na fatura de energia elétrica

- Operação com motor de 175 cv

$$CE_1 = \text{US\$ } 1.488,27 \text{ (planilha de cálculo da Tabela 15.16)}$$

- Operação com motor de 50 cv

$$CE_1 = \text{US\$ } 1.328,51 \text{ (planilha de cálculo da Tabela 15.17)}$$

k) Redução do custo da fatura mensal

$$\Delta F = 1.488,27 - 1.328,51 = \text{US\$ } 159,76/\text{mês}$$

TABELA 15.16

Custo de operação do motor de 175 cv

Custo Anual de Energia — Tarifa Azul									
Tarifa sem ICMS			Período		Demanda	Consumo		Demanda/Consumo	
Descrição	(US\$/kW)	(US\$/MWh)	(Horas/mês)	(Mês/ano)	(kW)	(kWh/mês)	(kWh/ano)	(US\$/mês)	(US\$/ano)
Demanda FP	3,230	-	-	12	35,4	-	-	114,34	1.372,10
Demanda P	9,810	-	-	12	35,4	-	-	347,27	4.167,29
Consumo FPS	-	31,73	286	7	-	29.098	203.686	923,28	6.462,96
Consumo PS	-	65,31	66	7	-	2.336	16.352	152,56	1.067,95
Consumo FPU	-	28,08	286	5	-	29.098	145.490	817,07	4.085,36
Consumo PU	-	60,24	66	5	-	2.336	11.680	140,72	703,60
Total anual							377.208	-	17.859,26
Total mensal (US\$/mês)									1.488,27
Tarifa média mensal (US\$/MWh)									47,35

TABELA 15.17

Custo de operação do motor de 50 cv

Custo Anual de Energia — Tarifa Azul									
Tarifa sem ICMS			Período		Demanda	Consumo		Demanda/Consumo	
Descrição	(US\$/kW)	(US\$/MWh)	(Horas/mês)	(Mês/ano)	(kW)	(kWh/mês)	(kWh/ano)	(US\$/mês)	(US\$/ano)
Demanda FP	3,230	-	-	12	31,6	-	-	102,07	1.224,82
Demanda P	9,810	-	-	12	31,6	-	-	310,00	3.719,95
Consumo FPS	-	31,73	286	7	-	25.975	181.825	824,19	5.769,31
Consumo PS	-	65,31	66	7	-	2.085	14.595	136,17	953,20
Consumo FPU	-	28,08	286	5	-	25.975	129.875	729,38	3.646,89
Consumo PU	-	60,24	66	5	-	2.085	10.425	125,60	628,00
Total anual							336.720	-	15.942,17
Total mensal (US\$/mês)									1.328,51
Tarifa média mensal (US\$/MWh)									47,35

- l) Diferença entre o preço de um motor instalado de 50 cv e do motor retirado de 175 cv: US\$ 3.090,00
 m) Valor Presente Líquido

Com base nas receitas mensais calculadas no item k e no investimento inicial, pode-se determinar o tempo de retorno do referido investimento, através da planilha de cálculo da Tabela 15.18, que é de 2 anos. Já a Figura 15.8 identifica graficamente também o tempo de retorno do investimento.

Pode-se observar que é possível vender o motor de 175 cv com deságio para pagar o motor de 50 cv, anulando o valor do investimento.

TABELA 15.18

Tempo de retorno do investimento

Cálculo do VPL (Anual)							
Investimento (US\$):							3.090,00
Taxa de Juros Mensais (16%)							1,1600
Ano	Motor <i>standard</i>		Motor alto rendimento		Receitas (US\$)	Fluxos Atualizados (US\$)	Fluxos Acumulados (US\$)
	Custo da Energia Consumida (US\$)	O&M (US\$)	Custo da Energia Consumida (US\$)	O&M (US\$)			
1	17.859,26	0,00	15.942,17	0,00	1.917,09	1.652,66	1.652,66
2	17.859,26	0,00	15.942,17	0,00	1.917,09	1.424,71	3.077,37
3	17.859,26	0,00	15.942,17	0,00	1.917,09	1.228,20	4.305,57
4	17.859,26	0,00	15.942,17	0,00	1.917,09	1.058,79	5.364,36
5	17.859,26	0,00	15.942,17	0,00	1.917,09	912,75	6.277,12

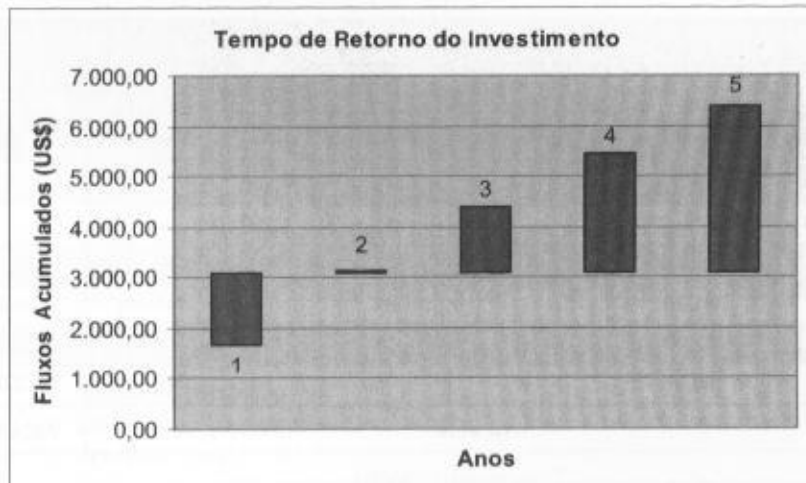


FIGURA 15.8
Tempo de retorno do investimento

15.3.4.2 Avaliação da substituição de motores *standard* com carga nominal por motores de alto rendimento

Neste caso, o motor em operação é do tipo *standard* e está adequadamente dimensionado para a carga acoplada ao seu eixo. No entanto, deve-se avaliar o benefício econômico-financeiro que se obtém ao substituir o motor do tipo *standard* por motor de alto rendimento de mesma potência nominal.

Observar, neste caso, que o investimento já foi realizado com aquisição do motor *standard*. Um novo investimento será realizado.

Para que se possa tomar uma decisão de substituir os motores do tipo *standard* é necessário determinar o tempo de retorno de investimento com a aquisição do motor de alto rendimento. A Equação (15.16) fornece o tempo de retorno de investimento, em anos.

$$T_r = \frac{C_{ar}}{0,736 \times P_{nm} \times N_{ha} \times C_{kwh} \times \left(\frac{100}{\eta_s} - \frac{100}{\eta_{ar}} \right)} \quad (15.16)$$

C_{ar} – custo do motor de alto rendimento, em R\$ ou US\$;

P_{nm} – potência nominal do motor, em cv;

N_{ha} – número médio de horas de operação do motor ao ano;

C_{kwh} – custo médio do valor da energia consumida pela indústria, em R\$/kWh ou US\$/MWh;

η_s – rendimento do motor *standard*;

η_{ar} – rendimento do motor de alto rendimento.

15.3.4.3 Avaliação de aquisição de motores *standard* ou de motores de alto rendimento

Neste caso, está-se avaliando a possibilidade de se adquirir um motor do tipo *standard* ou um motor de alto rendimento. Como se sabe, o custo de aquisição dos motores de alto rendimento é significativamente superior ao custo de aquisição dos motores do tipo *standard*. Assim, deve-se determinar o tempo de retorno do investimento, de acordo com a Equação (15.17).

$$T_r = \frac{C_{ar} - C_{ms}}{0,736 \times P_{nm} \times N_{ha} \times C_{kwh} \times \left(\frac{100}{\eta_s} - \frac{100}{\eta_{ar}} \right)} \quad (15.17)$$

C_{ms} – custo do motor *standard*, em R\$ ou US\$.

TABELA 15.19

Tarifa média

Custo Anual de Energia — Tarifa Azul									
Tarifa sem ICMS			Período		Demanda	Consumo		Demanda/Consumo	
Descrição	(US\$/kW)	(US\$/MWh)	(Horas/mês)	(Mês/ano)	(kW)	(kWh/mês)	(kWh/ano)	(US\$/mês)	(US\$/ano)
Demanda FP	3,230	-	-	12	1.400	-	-	4.522,00	54.264,00
Demanda P	8,810	-	-	12	1.200	-	-	10.572,00	126.864,00
Consumo FPS	-	31,73	-	7	-	76.300	534.100	2.421,00	16.946,99
Consumo PS	-	65,31	-	7	-	742.400	5.196.800	48.486,14	339.403,01
Consumo FPU	-	28,08	-	5	-	76.300	381.500	2.142,50	10.712,52
Consumo PU	-	60,24	-	5	-	742.400	3.712.000	44.722,18	223.610,88
Total anual							9.824.400	-	771.801,40
Total mensal (US\$/mês)									64.316,78
Tarifa média mensal (US\$/MWh)									78,56

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (15.6)

Uma indústria deseja adquirir 10 motores de 100 cv/380 V. Os motores devem operar a plena carga durante 24 horas. A indústria não opera aos sábados e domingos. Os consumos e demandas médios dos últimos seis meses são:

- Demanda faturada fora da ponta de carga: 1.400 kW
- Demanda faturada na hora de ponta de carga: 1.200 kW
- Consumo de energia fora da ponta de carga: 742.400 kWh
- Consumo de energia na hora de ponta de carga: 76.300 kWh

Avaliar se é economicamente interessante adquirir os motores do tipo *standard* ou motores de alto rendimento. O tempo de operação anual do motor é de 6.480 horas. O custo de aquisição do motor de 100 cv/IV pólos/380 V do tipo *standard* é de US\$ 3.100,00. Já o custo de aquisição do motor de alto rendimento equivalente é de US\$ 4.430,00.

- Determinação da tarifa média da indústria

O custo médio da energia pode ser determinado segundo a Tabela 15.19.

$$T_r = \frac{C_{or} - C_{ms}}{0,736 \times P_{ms} \times N_{hr} \times C_{kwh} \times \left(\frac{100}{\eta_e} - \frac{100}{\eta_{or}} \right)} = \frac{4.430 - 3.100}{0,736 \times 100 \times 6.480 \times \frac{78,56}{1.000} \left(\frac{100}{92,5} - \frac{100}{94,5} \right)}$$

$$T_r = 1,5 \text{ ano (18 meses)}$$

$$\eta_e = 92,5 \text{ (catálogo do fabricante WEG)}$$

$$\eta_{or} = 94,5 \text{ (catálogo do fabricante WEG)}$$

Com a taxa de retorno de investimento em 18 meses conclui-se que é viável adquirir os motores de alto rendimento.

15.3.5 Consumo de Água

15.3.5.1 Desperdício de água e energia

Os vazamentos de água ao longo da tubulação são responsáveis por um excessivo consumo desse líquido nas instalações industriais. Como consequência, o motor da bomba d'água necessita trabalhar além do normal para compensar o volume d'água desperdiçado no sistema hidráulico e na reservação, aumentando o consumo de energia elétrica. Nesse caso, haverá tanto desperdício de água quanto de energia elétrica, onerando, consequentemente, os custos operacionais da instalação.

Quanto maior for o consumo de água desperdiçada na instalação consumidora, maior será o volume necessário de água nas estações de tratamento, as chamadas ETAs e o uso de material de tratamento.

Assim, é necessário que os responsáveis pela manutenção monitorem periodicamente toda tubulação de água para descobrir vazamentos e façam os reparos necessários.

Para que os custos operacionais com o consumo de água e energia elétrica sejam racionalizados, podem ser adotadas as seguintes instruções:

a) Recomendações aos responsáveis pela manutenção

- as áreas ajardinadas devem receber a quantidade de água apenas necessária para preservar a vida das plantas. Os excessos e falta de água são desaconselhados e prejudicam as plantas;
- não usar a mangueira de água para remover a sujeira em calçadas, pátios etc. Usar, neste caso, a vassoura;
- não usar a mangueira com água corrente. Usar apenas a quantidade de água necessária à limpeza da área;
- inspecionar rotineiramente as conexões das tubulações de água quente e água fria das máquinas da produção;
- inspecionar rotineiramente os tanques de água bruta e tratada, além dos *boilers* ou aquecedores de água;
- realizar inspeções rotineiras no sistema de suprimento e de distribuição de água;
- regular a válvula de descarga dos vasos sanitários.

b) Recomendações aos funcionários burocráticos e de chão de fábrica

- manter bem fechadas as torneiras, de forma a evitar que pinguem continuamente;
- comunicar aos responsáveis pela manutenção a existência de vazamentos em torneiras diversas, chuveiros, conexões, vasos sanitários etc.;
- as máquinas de lavar roupa, louça etc. devem ser utilizadas com sua capacidade máxima.
- dar atenção aos vazamentos no sistema de água quente para evitar concomitantemente a perda de água, a perda de gás e, finalmente, a perda de energia elétrica;
- acionar, minimamente, as válvulas dos aparelhos sanitários;
- não deixar a torneira aberta enquanto escovar os dentes ou fazer a barba;
- deve ser mínimo o tempo de banho.

15.3.5.2 Identificação de vazamentos no sistema de suprimento e de distribuição

Em qualquer instalação industrial existem dois tipos de vazamentos: vazamentos visíveis e vazamentos não visíveis.

Os vazamentos visíveis ocorrem com maior frequência nas torneiras, conexões com as máquinas, chuveiros, bidês e no extravasor das caixas d'água cuja bóia não funciona adequadamente. Nos sistemas industriais de maior porte existem controles através de sensores elétricos em alguns pontos importantes do sistema hidráulico.

Os vazamentos não visíveis normalmente são de difícil identificação. Esses vazamentos ocorrem, em geral, nos vasos sanitários (pequenos vazamentos) ou nos reservatórios ao nível do solo ou subterrâneos.

Para orientar as equipes de manutenção seguem algumas recomendações.

a) Realização de teste em reservatórios construídos no solo

Utilizar a Figura 15.9 para a realização do teste de vazamento:

- abrir o registro do hidrômetro;
- fechar o registro de limpeza e o de saída do reservatório;
- vedar a entrada de água, fechando a bóia através de um fio ou barbante;
- desligar a bomba de recalque, evitando conduzir água para o reservatório superior;
- medir o nível da água no reservatório através de uma tira de madeira ou outro material que possa identificar a marca d'água;
- após cerca de três horas, em média, medir novamente o nível da água no reservatório. Para reservatórios muito grandes esperar pelo menos cinco horas para realizar a referida medição;
- comparando os dois níveis medidos pode-se concluir se houve vazamento no reservatório;
- caso confirmado, verificar se o vazamento ocorreu por trinca no reservatório ou nos pontos de saída e entrada de tubulação.

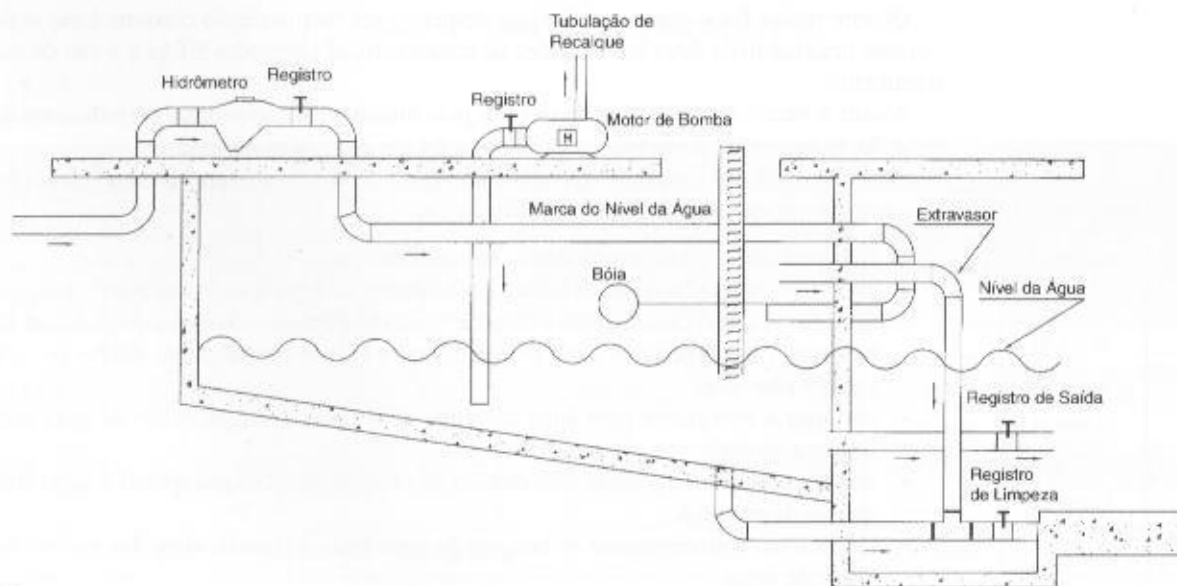


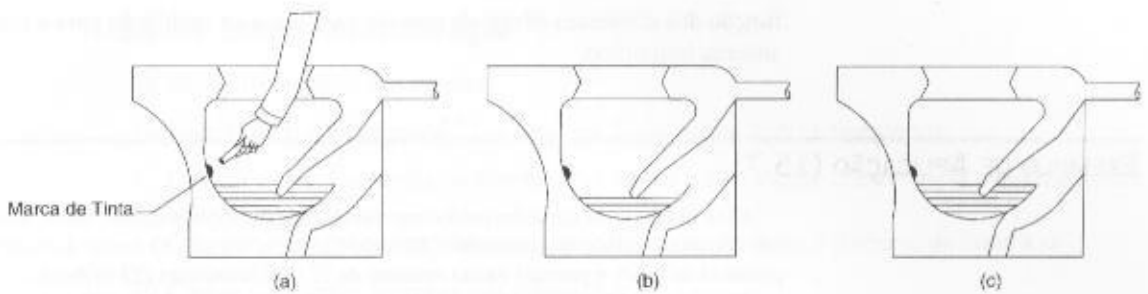
FIGURA 15.9
Teste de vazamento

b) Realização de teste em aparelhos sanitários

Existem vários testes que podem ser aplicados. Seguir a orientação de um teste bastante simples auxiliado pela Figura 15.10, ou seja:

- acionar a botão de descarga, para deixar o nível da água no seu nível normal;
- através de um marcador de tinta, traçar uma marca no interior do aparelho sanitário, ligeiramente acima do nível da água, conforme Figura 15.10 (a);
- através de um recipiente, retirar cerca da metade do volume de água do fundo do aparelho sanitário, conforme Figura 15.10 (b);
- esperar cerca de 30 minutos;

FIGURA 15.10
Teste de vazamento em
aparelhos sanitários



- observar se o nível da água elevou-se e atingiu a marca anteriormente realizada;
- se a água subiu de nível, concluir que o aparelho sanitário permite o vazamento de água. Caso contrário, o aparelho está funcionando normalmente;
- em caso de vazamento, verificar se a válvula de descarga está danificada.

15.3.5.3 Quantificação das perdas de água e energia elétrica devido aos vazamentos

Para que se possa quantificar os desperdícios de água e energia elétrica numa unidade consumidora sujeita a vazamentos utilizar as Tabelas 15.20 e 15.21. A Tabela 15.20 fornece o desperdício de água em função do gotejamento nas torneiras e registros ou aberturas dos mesmos permitindo a passagem de um fio de água corrente. Já a Tabela 15.21 fornece o desperdício de água em

TABELA 15.20

Desperdício de água através de orifício à pressão atmosférica – PROCEL

Desperdício de Água		
Condições	Média Diária	Média Mensal
Gotejando	46 litros	1.380 litros ou 1,38 m ³
Abertura de 1 mm	2.068 litros	62.040 litros ou 62,04 m ³
Abertura de 2 mm	4.512 litros	135.360 litros ou 135,36 m ³
Abertura de 6 mm	16.400 litros	492.000 litros ou 492,00 m ³
Abertura de 9 mm	25.400 litros	762.000 litros ou 762,00 m ³
Abertura de 12 mm	33.984 litros	1.019.520 litros ou 1.019,52 m ³

TABELA 15.21

Desperdício de água através de orifício em função da pressão (pressão: 5 kg/cm²) – PROCEL

Diâmetro do Orifício (mm)	Vazamento (litros)		m ³ por	
	(minutos)	(hora)	(dia)	(mês)
0,5	0,33	20	0,48	14,4
4	14,8	890	21,4	644
7	39,3	2.360	56,8	1.700
Percentual do Volume dos Vazamentos Acima Mencionados com as Diversas Pressões				
1 kg/cm ² - 45%		6 kg/cm ² - 110%		
2 kg/cm ² - 63%		7 kg/cm ² - 118%		
3 kg/cm ² - 77%		8 kg/cm ² - 127%		
4 kg/cm ² - 89%		9 kg/cm ² - 134%		
5 kg/cm ² - 100%		10 kg/cm ² - 141%		

função dos diferentes níveis de pressão existentes na tubulação para a condição de vazamento no sistema hidráulico.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (15.7)

Uma indústria de tamanho médio apresenta, em condições normais, isto é, sem existência de vazamento, um consumo mensal em torno de 3.500.000 litros (3.500 m³). O motor da bomba de recalque possui uma potência de 10 cv e permite vazão máxima de 22.000 litros/hora (22 m³/hora).

Determinar o consumo mensal e o percentual de desperdício de energia elétrica em condições normais (sem vazamento) e nas condições de vazamento no sistema hidráulico, nas seguintes hipóteses:

- Em 10 pontos do sistema hidráulico observou-se gotejamento de registros e conexões da tubulação de água com as máquinas.
 - Foram encontrados 5 aparelhos sanitários com vazamento de água, correspondente aproximadamente a 1 mm de abertura.
- a) Instalação em condições normais de funcionamento (sem vazamento)
- Tempo de operação do motor da bomba

$$T_{opm} = \frac{C_{me}}{Q_m} = \frac{3.500 \text{ m}^3}{\frac{22 \text{ m}^3}{\text{hora}}} = 159 \text{ horas/mês}$$

C_{me} – consumo de água mensal, em $\frac{\text{m}^3}{\text{mês}}$;

Q_m – quantidade de água bombeada (vazão) pela bomba, em $\frac{\text{m}^3}{\text{mês}}$.

- Consumo mensal de energia da bomba

$$C_{bmbm} = P_{nm} \times T_{opm} = 10 \times 0,736 \times 159 = 1.170 \text{ kWh/mês};$$

P_{nm} – potência nominal do motor da bomba, em cv.

- b) Instalação em condição de vazamento

- Cálculo do desperdício de água
- 1 registro gotejando → 1.380 litros/mês (Tabela 15.20)
- 1 aparelho sanitário vazando → 62.040 litros/mês (Tabela 15.20)

$$C_{at} = N_{reg} \times C_{reg} + N_{apr} \times C_{apr} = 10 \times 1.380 + 5 \times 62.041 = 324.000 \text{ litros/mês}$$

N_{reg} – número de registros gotejando;

C_{reg} – consumo mensal de cada torneira devido ao desperdício, em litros/mês;

N_{apr} – número de aparelhos sanitários com vazamento;

C_{apr} – consumo de cada aparelho sanitário devido ao desperdício.

- Cálculo do consumo adicional de água devido ao desperdício

$$C_{ada} = \frac{C_{at}}{Q_m} = \frac{\frac{324.000 \text{ litros}}{\text{mês}}}{\frac{22 \text{ m}^3}{\text{mês}}} = \frac{324 \text{ m}^3}{22 \text{ m}^3} = 14,7 \text{ horas/mês}$$

C_{ada} – consumo adicional de água.

- Cálculo do consumo adicional de energia elétrica devido ao desperdício de água

$$C_{ade} = P_{nm} \times 0,736 \times C_{ada} = 10 \times 0,736 \times 14,7 = 108,2 \text{ kWh/mês}$$

- Cálculo do percentual de desperdício de energia elétrica

$$D_e \% = \frac{108,2}{1.170} \times 100 = 9,2\%$$

15.3.5.4 Bombeamento de água

a) Aspectos técnicos das bombas

De acordo com a Equação (6.2), podem ser feitos os seguintes comentários:

- Quanto maior a potência da bomba (P_b), maior será a vazão, conservando a mesma altura manométrica (H);
- Quanto maior for a altura manométrica (H), maior deve ser a potência da bomba (P_b).

b) Causas das perdas de carga nas tubulações

- Excesso de curvas
- Turbulência no sistema hidráulico
- Alteração na velocidade do líquido

c) Plano de manutenção

Deve-se considerar como medida mitigadora dos desperdícios de água o reparo permanente dos pontos de vazamento da rede hidráulica. Porém, outras medidas práticas devem ser adotadas para reduzir esses desperdícios, ou seja:

- verificar se o conjunto motor-bomba está adequado às necessidades da indústria;
- utilizar motor de alto rendimento;
- verificar se as pás rotóricas apresentam alto índice de corrosão;
- verificar se há vibração no funcionamento do motor;
- manter os filtros do sistema hidráulico sempre limpos;
- evitar o consumo desnecessário de água;
- verificar se há válvulas de bloqueio na tubulação e se esta está parcialmente fechada;
- verificar se há possibilidade de reduzir o número de acessórios existente na tubulação;
- verificar se a tubulação está com diâmetro adequado, para evitar perdas hidráulicas e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica;
- eliminar (se existir) o sistema de entrada intencional de ar na tubulação como recurso para reduzir a vazão;
- eliminar (se existir) a redução concêntrica da tubulação, evitando o turbilhonamento do fluxo de água na entrada da bomba, reduzindo o rendimento.

15.3.6 Climatização

De uma forma geral, os sistemas de climatização provocam grandes desperdícios de energia elétrica nas instalações industriais e comerciais, independentemente se são utilizados aparelhos do tipo janelado ou sistemas centralizados.

Atualmente, o PROCEL tem incentivado muito a eficiência de unidades de climatização. Os aparelhos comercializados com selo PROCEL apresentam uma taxa média de 0,95 kW/10.000 BTU contra uma taxa média de 1,35 kW/10.000 BTU de aparelhos um pouco mais antigos, permitindo, assim, um ganho de eficiência de cerca de 30%. Esse ganho já viabiliza economicamente a substituição dos aparelhos antigos por aparelhos certificados pelo PROCEL, dependendo do tempo de utilização diário.

Para melhor compreensão serão definidos alguns termos básicos relativamente aos sistemas de climatização, ou seja:

a) Circuitos de condensação

É constituído pelos equipamentos empregados no arrefecimento do fluido refrigerante (por exemplo, amônia) no condensador do sistema, tais como bombas, torres de resfriamento, instrumentos, dispositivos etc.

b) Circuito de água gelada

É constituído pelos equipamentos de circulação de água gelada, tais como bombas, instrumentos, dispositivos, tubulação e *fan-coils*.

c) Circuito de distribuição de ar

É constituído pelos equipamentos utilizados na circulação do ar tratado, tubulações e os diversos elementos para insuflamento, tais como o retorno de ar e admissão de ar do meio exterior.

Para reduzir os desperdícios de energia elétrica adotar as seguintes orientações:

15.3.6.1 Medidas de implementação a curto prazo

a) Aparelho de ar condicionado tipo janeleiro

- utilizar somente aparelhos de ar condicionado certificados pelo PROCEL;
- evitar a entrada do ar exterior no ambiente climatizado, mantendo as portas e janelas sempre fechadas;
- limpar periodicamente os filtros do aparelho para melhorar o rendimento e higienizar o ar circulante;
- evitar que áreas climatizadas fiquem expostas ao sol para impedir o aumento da carga térmica; para tanto, utilizar cortinas, persianas ou película de proteção solar nas janelas;
- desligar o aparelho de ar condicionado quando não houver nenhuma pessoa no ambiente climatizado.
- evitar que a saída de ar do aparelho seja obstruído;
- manter a temperatura do ambiente climatizado em 23°C, que é a temperatura mais agradável para o ser humano;
- nos dias de frio manter funcionando apenas os ventiladores dos aparelhos de ar condicionado; proceder o mesmo para as centrais de climatização;
- desligar o aparelho de ar condicionado em ambientes não utilizados ou que fiquem longo tempo desocupados;
- designar um funcionário da empresa para desligar os aparelhos de ar condicionado em horários predefinidos, como, por exemplo, durante o horário de almoço.

b) Aparelho de ar condicionado tipo central

- verificar, periodicamente, se o termostato está em pleno funcionamento;
- verificar as condições dos condensadores das serpentinas;
- verificar se há incrustações nas superfícies dos trocadores de calor;
- verificar se há vazamento do fluido refrigerante;
- verificar a perda de pressão nos trocadores de calor do equipamento de geração de frio;
- verificar se há vazamentos de água no circuito de condensação;
- realizar periodicamente a limpeza das serpentinas dos *fan-coils*;
- realizar periodicamente a limpeza das serpentinas de arrefecimento do ar, dos filtros de ar e dos ventiladores.

15.3.6.2 Medidas de implementação a médio prazo

- isolar termicamente as tubulações de ar das centrais de climatização para evitar a perda de calor (frio);
- tratar quimicamente a água de refrigeração;
- reparar janelas e portas quebradas ou fora de alinhamento;
- reparar fugas de ar, água e fluido refrigerante;
- evitar a circulação de ar condicionado nos reatores de lâmpadas fluorescentes e, se necessário, removê-los para outro ambiente.

15.3.6.3 Medidas de implementação a longo prazo

- elaborar estudos técnicos e econômicos para a implantação de um sistema de termoacumulação ou água gelada, onde é possível a sua utilização. O sistema de termoacumulação ou água gelada não reduz o consumo, apenas permite que os compressores do sistema de climatização não operem na hora da ponta de carga;
- em edificações antigas reavaliar o projeto de climatização adequando aos critérios mais modernos;
- dimensionar os aparelhos de ar condicionado utilizando a carga térmica do ambiente. Para pequenos ambientes, pode-se utilizar a Tabela 15.22;

TABELA 15.22

Dimensionamento de aparelhos de ar condicionado – PROCEL

Cálculo da Carga Térmica (BTU)									
Área (m ²)	Sombra o Dia Todo			Sol da Manhã			Sol da Tarde		
	Condição do Ambiente								
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	6.000	7.000	8.000	8.000	10.000	11.000	10.000	12.000	11.000
20	6.000	8.000	11.000	8.000	12.000	14.000	11.000	14.000	14.000
30	6.000	9.000	14.000	8.000	14.000	18.000	12.000	16.000	17.000
40	7.000	12.000	16.000	10.000	14.000	18.000	13.000	17.000	22.000
60	10.000	16.000	22.000	14.000	20.000	30.000	17.000	23.000	30.000
70	10.000	18.000	23.000	14.000	22.000	30.000	18.000	30.000	30.000
90	12.000	22.000	30.000	16.000	20.000	35.000	20.000	30.000	40.000

A – ambiente sob outro pavimento
 B – ambiente sob telhado com forro
 C – ambiente sob laje descoberta

- utilizar barreiras verdes (árvores) para proteger a edificação contra a entrada de raios solares nos ambientes dotados de janelas e portas de vidro.

A utilização dessa tabela remete às seguintes considerações:

- o cálculo da carga térmica com base da Tabela 15.22 considera a permanência de duas pessoas no ambiente. Deve-se acrescentar 600 BTU por hora para cada pessoa a mais presente no ambiente;
- para uma melhor distribuição do ar refrigerante nos grandes ambientes é prudente empregar dois ou mais aparelhos, cuja capacidade seja equivalente à encontrada na Tabela 15.22.

15.3.6.4 Centrais de climatização

- dimensionar as centrais de climatização nos casos em que os ocupantes dos ambientes beneficiados trabalhem em horários comuns. Para ambientes em que a ocupação ocorra em horário diferente do normal, prever a utilização de ar condicionado do tipo janelheiro.
- instalar e utilizar aparelhos do tipo janelheiro nos ambientes servidos por ar condicionado central, cujos ocupantes normalmente utilizam os referidos ambientes além do expediente normal. Nesse caso, a central de ar condicionado deve ser desligada;
- os compressores e *chillers* devem operar a plena carga;
- evitar o uso de ar condicionado em ambientes desocupados;
- eliminar penetração de ar falso nos dutos e ventiladores;
- utilizar somente centrais de climatização de alta eficiência;
- manter lubrificadas os mancais dos motores e todas as partes móveis de acordo com as recomendações do fabricante;
- reduzir o fluxo de ar para todas as áreas ao nível mínimo aceitável;
- eliminar a existência de vazamentos de fluido refrigerante em torno de vedações, visores, tampas de válvulas, flanges, conexões, válvula de segurança de condensador e nas ligações da tubulação, válvulas e instrumentação;
- limpar periodicamente os ventiladores dos aparelhos;
- verificar as perdas em todas as juntas do compressor;
- manter limpa a torre de refrigeração para minimizar as quedas de pressão de ar e de água;

TABELA 15.23

Planilha de cálculo da energia atual consumida no sistema de climatização do tipo janeleiro

Levantamento e Análise dos Aparelhos de Ar Condicionado																								
Instituição: Responsável pelo Levantamento:																								
Local de Instalação do Aparelho	Área	Condicionador de Ar			Capacidade do Aparelho Janeleiro		Corr. Nom.	Condições de Uso do Aparelho			Condições de Instalação dos Aparelhos de Ar Condicionado					Medição		Fat. pot.	Dem.	Potência de Demanda		Tempo Operação		Energia Anual Consumida
		m ²	Tipo	Procel	Quant.	BTU		kW	A	Bom	Reg	Ruim	Prot.	Mold.	Isol. Térm.	Caixa	Func.			V	A	-	kVA	
	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Sala Operador	22,8	J	N	1	10.000	1,30	6,3		x		N	S	S	S	S	209	7,8	0,81	1,63	1,3	24	30	11.232	
GPROD	25,2	J	N	1	10.000	1,30	6,3		x		S	S	S	S	S	220,5	5,9	0,81	1,30	1,1	10	22	3.432	
Controle Administrativo	32,8	J	N	1	10.000	1,30	6,3		x		S	S	S	S	S	221,5	5,6	0,81	1,24	1,0	10	22	3.432	
Treinamento	36,6	J	N	1	15.000	1,97	9,6		x		S	S	S	S	S	221,8	6,5	0,81	1,44	1,2	3	22	1.560	
Treinamento		J	N	1	18.000	2,30	11,2			x	N	N	S	S	S	221,6	11,3	0,81	2,50	2,0	3	22	1.822	
Controle de qualidade	60,5	J	N	1	10.000	1,30	6,3		x		S	S	S	N	S	222	8,2	0,81	1,82	1,5	24	30	11.232	
Controle de qualidade		J	N	1	12.000	1,58	7,6		x		S	S	S	N	S	221	7,7	0,81	1,70	1,4	24	30	13.651	
Controle Operacional	29,5	J	N	1	10.000	1,30	6,3		x		S	S	S	S	S	210,6	8	0,81	1,66	1,3	8	26	3.245	
Chefia Oficina Eletrom.	10,25	J	N	1	7.500	0,98	4,7		x		S	S	S	S	S	220	5	0,81	0,99	0,8	8	26	2.446	
TOTALIZAÇÃO				9		13,33	64,6									65			14,29	11,6			52.052	

- verificar periodicamente o indicador de umidade e de água. Se a cor do refrigerante indicar "úmido", significa que há água no sistema;
- verificar periodicamente se há bolhas no fluxo do refrigerante, o que pode ser observado através do indicador de umidade e água. Isso indica que o sistema deve estar com refrigerante reduzido;
- verificar se o compressor está funcionando continuamente ou realiza paradas e partidas muito frequentes, o que indica que há desajuste operacional;
- em regiões frias, instalar e operar um sistema de aeração natural que leve para os ambientes climatizados o ar exterior quando esse registrar uma temperatura inferior à temperatura do ar interior aos referidos ambientes, evitando que o mesmo passe pelo sistema de resfriamento dos aparelhos de ar condicionado;
- isolar os tubos, ligações e válvulas de água quente nos locais condicionados, para minimizar as perdas e a absorção de calor.

A Tabela 15.23 ilustra uma seqüência de cálculo para determinação do potencial de economia com a utilização de novas unidades de climatização de maior eficiência.

TABELA 15.24

Avaliação da substituição de aparelhos de ar condicionado do tipo janeleiro

Sistema Atual										
Tempo de Operação Médio Diário dos Aparelhos (horas)										15
Número de Dias por Mês de Funcionamento dos Aparelhos										22
Custo Médio da Energia da Unidade Consumidora (US\$/MWh)										78,00
TIPO DE EQUIPAMENTO (Aparelho de janela)	Capacidade dos Aparelhos de Ar Condicionado Existentes									
	7.500	10.000	-	12.000	-	15.000	18.000	21.000	30.000	TOTAL
BTU										
Quantidade	2	3	-	2	0	7	2	1	1	18
Potência do aparelho (kW)	1,16	1,35	-	1,70	-	2,10	2,30	2,90	4,10	-
Potência total (kW)	2,32	4,05	-	3,40	-	14,70	4,60	2,90	4,10	36,07
Energia consumida (kWh/ano)	9.187	16.038	-	13.464	-	58.212	18.216	11.484	16.236	142.837
Custo da energia gasta por ano (US\$)										11.141,30
Sistema Proposto										
TIPO DE EQUIPAMENTO (Aparelho de janela)	Capacidade dos Aparelhos de Ar Condicionado Propostos (selo PROCEL)									
	7.500	-	10.500	-	12.500	-	18.000	21.000	30.000	TOTAL
BTU										
Quantidade	2		3	-	2	-	9	1	1	18
Potência do aparelho (kW)	0,72	-	1,03	-	1,18	-	1,81	2,18	3,15	-
Potência total (kW)	1,44	-	3,09	-	2,36	-	16,27	2,18	3,15	28,50
Energia consumida (kWh/ano)	5.702	-	12.248	-	9.346	-	64.437	8.633	12.474	112.840
Custo da energia gasta por ano (US\$)										8.801,54
Resultados Obtidos										
Redução de potência (kW)	0,88	-	0,96	-	1,04	-	3,03	0,72	0,95	7,58
Energia conservada (kWh/ano)	3.485	-	3.790	-	4.118	-	11.991	2.851	3.762	29.997
Economia(%)	38	-	24	-	31	-	16	25	23	21
Economia anual de energia (US\$)										2.339,77

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (15.8)

Foi realizado um levantamento dos aparelhos de ar condicionado da área administrativa de uma indústria obtendo-se o número de aparelhos constantes da Tabela 15.24 (Sistema Atual). Analisar a conveniência econômica de substituição dos aparelhos antigos por aparelhos com selo PROCEL. O custo com a aquisição dos novos aparelhos com selo PROCEL foi de US\$ 11.034,00. O custo médio da energia paga pela indústria é de US\$ 78,00/MWh.

Através da planilha de cálculo da Tabela 15.24 determina-se que a economia anual de energia elétrica por ano será de US\$ 2.339,77.

O tempo de retorno do investimento pode ser conhecido através da planilha de cálculo da Tabela 15.25 e vale 3,2 anos. A Figura 15.11 mostra o mesmo resultado. Foi considerada uma taxa de juro de 1,6% ao ano (juro subsidiado).

TABELA 15.25

Tempo de retorno do investimento

Cálculo do VPL (Anual)							
Investimento (US\$)							11.034,00
Taxa de Juros Anuais (1,6%)							1,0160
Ano	AC normal		AC selo PROCEL		Receitas (US\$)	Fluxo Atualizado (US\$)	Fluxo Acumulado (US\$)
	Custo da Energia Consumida (US\$)	O&M (US\$)	Custo da Energia Consumida (US\$)	O&M (US\$)			
1	11.141,30	779,89	8.801,54	264,05	3.383,70	3.330,41	3.330,41
2	11.141,30	779,89	8.801,54	264,05	3.383,70	3.277,96	6.608,37
3	11.141,30	779,89	8.801,54	264,05	3.383,70	3.226,34	9.834,72
4	11.141,30	779,89	8.801,54	264,05	3.383,70	3.175,53	13.010,25
5	11.141,30	779,89	8.801,54	264,05	3.383,70	3.125,52	16.135,77

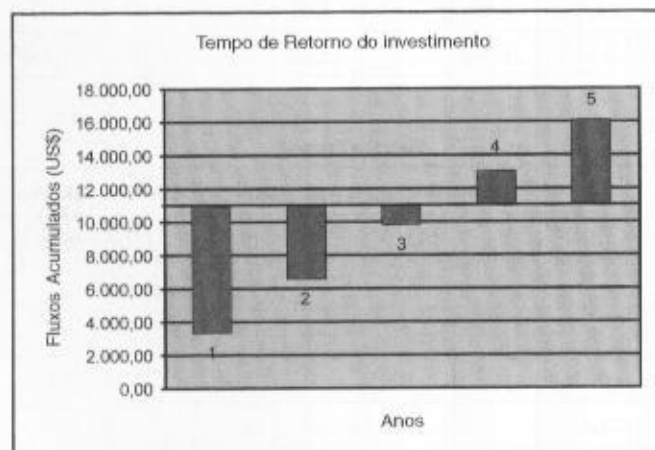


FIGURA 15.11
Tempo de retorno do investimento

15.3.7 Ventilação Industrial

Em muitas indústrias existem grandes ventiladores que são responsáveis por uma parcela ponderável do consumo de energia elétrica. Esses ventiladores fazem parte do processo produtivo e devem ser analisados para identificar o potencial de desperdício de energia elétrica.

O principal ponto que pode ser analisado é a possibilidade de reduzir a velocidade dos ventiladores. Se factível, o meio mais fácil para reduzir a velocidade dos ventiladores é a substituição das polias do motor e/ou do próprio ventilador, ou ainda o uso de chaves inversoras.

Para se determinar o potencial de economia com a mudança da velocidade e, conseqüentemente, a troca de polias é necessário adotar o seguinte procedimento.

a) Determinação da nova velocidade do ventilador

A velocidade do motor com o diâmetro da polia reduzida é dada pela Equação (15.7).

$$W_2 = \frac{W_1 \times N_2}{N_1} \quad (15.18)$$

W_2 – velocidade do ventilador com o diâmetro da polia reduzido;

W_1 – velocidade em que opera o ventilador;

N_1 – volume de movimentação do ar realizado pelo ventilador;

N_2 – volume de movimentação do ar realizado pelo ventilador com o diâmetro da polia reduzido.

b) Determinação do diâmetro das polias

- Polia do motor

O diâmetro da polia do motor é dado pela Equação (15.19).

$$D_{m2} = \frac{D_{m1} \times N_2}{N_1} \quad (15.19)$$

D_{m2} – diâmetro da nova polia do motor;

D_{m1} – diâmetro da polia atual do motor.

- Polia do ventilador

O diâmetro da polia do ventilador é dado pela Equação (15.20).

$$D_{v2} = \frac{D_{v1} \times N_2}{N_1} \quad (15.20)$$

D_{v2} – diâmetro da nova polia do ventilador;

D_{v1} – diâmetro da polia atual do ventilador.

c) Determinação da potência útil do motor

A potência útil do motor é dado pela Equação (15.21).

$$P_{um} = P_{mm} \times \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 \quad (15.21)$$

P_{um} – potência útil do motor na condição de operação na rotação N_2 ;

P_{mm} – potência atual do motor.

d) Redução da energia consumida no mês

É dada pela Equação (15.22).

$$\Delta E = (P_{um} - P_{mm}) \times 0,736 \times T_{op} \text{ (kWh)} \quad (15.22)$$

T_{op} – tempo de operação do ventilador durante o mês, em horas.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (15.9)

Uma indústria de moagem de trigo opera um ventilador cuja potência é de 50 cv/IV pólos/380 V. O ventilador é acoplado ao motor através de uma correia. O diâmetro da polia do motor é de 230 mm. A velocidade atual do ventilador é de 510 rpm. Determinar a redução do consumo de energia elétrica e do faturamento correspondente se o volume de ar utilizado for reduzido de 15%. A indústria funciona oito horas por dia durante 22 dias úteis do mês. O custo médio da energia consumida é de US\$ 55,00/MWh

a) Determinação da nova velocidade do ventilador

$$W_2 = \frac{W_1 \times N_2}{N_1} = \frac{510 \times (0,85 \times N_1)}{N_1} = 433,5 \text{ rpm}$$

b) Determinação do diâmetro da nova polia do motor

$$D_{m2} = \frac{D_{m1} \times N_2}{N_1} = 230 \times \frac{0,85 \times N_1}{N_1} = 196 \text{ mm}$$

c) Determinação da potência útil do motor

$$P_{um} = P_{sm} \times \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 = 50 \times \left(\frac{0,85 \times N_1}{N_1} \right)^3 = 30,7 \text{ cv}$$

d) Redução da energia consumida no mês

$$\Delta E = (P_{sm} - P_{um}) \times 0,736 \times 8 \times 22 = (50 - 30,7) \times 0,736 \times 8 \times 22 = 2.500 \text{ kWh}$$

Logo, a redução mensal na fatura é de:

$$R_f = \Delta E \times T_{\text{méd}} = 2.500 \times \frac{55,00}{1.000} = \text{US\$ } 137,00$$

15.3.8 Refrigeração

Os sistemas de refrigeração, se não gerenciados adequadamente, constituem uma grande fonte de desperdício de energia elétrica. Para se alcançar uma melhor eficiência operacional desses equipamentos seguir os procedimentos básicos descritos.

15.3.8.1 Medidas de implementação imediata

- somente adquira refrigeradores certificados pelo PROCEL;
- evitar utilizar os refrigeradores com portas ou tampas abertas;
- evitar armazenar produtos quentes;
- evitar armazenar produtos que necessitem apenas de refrigeração no mesmo local dos produtos congelados;
- nos balcões frigoríficos respeitar a linha de carga marcada pelo fabricante. O armazenamento de produtos acima dessa marca eleva a frequência do descongelamento;
- degelar periodicamente os refrigeradores;
- em locais onde existem câmaras frigoríficas funcionando continuamente, aproveitar as mesmas para realizar o pré-congelamento dos produtos a serem armazenados nos balcões frigoríficos;
- afastar os produtos armazenados pelo menos 10 cm das paredes dos refrigeradores, para garantir uma melhor circulação do ar de refrigeração;
- evitar instalar os refrigeradores e *freezers* próximos a equipamentos que produzem calor tais como fogões, fornos etc.;
- usar com moderação o uso de expositores ofertados por fabricantes ou fornecedores de produtos resfriados ou congelados;
- os termostatos das câmaras frigoríficas devem ser ajustados para permitir que os produtos armazenados sejam mantidos a uma temperatura de referência dada na Tabela 15.26;
- no interior das câmaras frigoríficas devem ser instaladas lâmpadas fluorescentes compactas tubulares de alta eficiência, com especificação adequada para baixas temperaturas. A iluminância deve ser de 200 lux;
- é conveniente que numa mesma câmara frigorífica sejam armazenados produtos que requeiram a mesma temperatura e o mesmo percentual de umidade;
- manter sempre em bom funcionamento e limpos os termostatos que operam com válvulas de três vias e/ou com válvulas de expansão;

15.3.8.2 Medidas de implementação a curto prazo

- verificar periodicamente a vedação das portas das antecâmaras;
- verificar e reparar, se for o caso, a vedação das portas e tampas dos refrigeradores, *freezers* e câmaras;

TABELA 15.26

Características básicas para armazenamento de produtos – PROCEL

Produto	Condições de Armazenamento					
	Curto Prazo		Longo prazo		Máximo Tempo de Armazenagem	Percentual de Água (%)
	Bulbo Seco (°C)	Umidade Relativa (%)	Bulbo Seco (°C)	Umidade Relativa (%)		
Manteiga	7	60-80	-23	65-85	12 meses	15
Queijo	4	70-80	0	70-80	2 meses	55
Ovos em caixa	4	70-85	-1	70-85	9 meses	73
Sorvete	-18	60-80	-23	60-80	2 semanas	60
Leite fresco	4	60-70	0	60-70	5 dias	83
Feijão seco	10	60-70	0	60-70	12 meses	13
Couve	2	80-90	0	80-90	4 meses	92
Milho em grão	10	60-70	2	60-70	12 meses	11
Alface	2	80-90	0	80-90	3 meses	95
Cebola	10	75-85	0	75-85	6 meses	89
Batata	4	80-90	2	80-90	6 meses	79
Tomate maduro	4	80-85	4	80-85	10 dias	95
Maças verdes	2	80-88	-1	80-88	7 dias	84
Banana madura	13	80-85	13	80-85	10 dias	75
Uva	2	80-85	-1	80-85	8 semanas	82
Manga	0	80-85	0	80-85	10 dias	93
Laranja	4	80-85	0	80-85	10 semanas	86
Pêssego verde	2	80-88	-1	80-85	4 semanas	86
Pêra verde	2	80-88	-1	80-88	7 meses	84
Abacaxi verde	15	80-88	10	80-88	4 semanas	88
Abacaxi maduro	7	80-88	4	80-88	4 semanas	88
Carne verde	2	80-87	0	80-87	6 meses	68
Carne porco cong.	2	70-87	0	70-87	3 dias	60
Peixe fresco	2	80-85	0	80-90	15 dias	70

- automatizar a porta das câmaras frigoríficas, de forma que a iluminação interna seja desligada quando as portas permanecerem fechadas.

15.3.8.3 Medidas de implementação de longo prazo

- abrigar os condensadores dos raios solares;
- nas câmaras frigoríficas desprovidas de antecâmaras utilizar cortinas de ar;
- realizar estudos técnicos e econômicos visando ao aproveitamento do calor rejeitado nas torres de resfriamento, utilizando-o no aquecimento de água ou outros produtos.

15.3.9 Aquecimento de Água

15.3.9.1 Medidas de implementação imediata

- os aquecedores de água devem ser ajustados para a temperatura de trabalho de 55°C;
- utilizar as máquinas de lavar roupa e lavar louça somente com plena carga;
- utilizar duchas e torneiras com baixa vazão;
- verificar o isolamento térmico da tubulação, reservatórios e demais elementos do sistema de aquecimento;
- manter em 55°C a temperatura da água quente dos aquecedores centrais utilizados para higiene pessoal.

15.3.9.2 Medidas de implementação a médio e longo prazo

- analisar a possibilidade de lavagem a frio de alguns produtos do processo produtivo;
- realizar estudos técnicos e econômicos visando à recuperação de calor das unidades de refrigeração;
- é conveniente separar a produção de água quente e de vapor;
- instalar redutores de fluxo de água em ramais alimentadores de grupo de torneiras que operam com elevada vazão;
- analisar a viabilidade e avaliar os custos de substituição de chuveiros elétricos por sistema de aquecimento de água a gás natural ou energia solar;
- analisar a viabilidade técnica e avaliar os custos para aproveitamento da água quente de drenagem das cozinhas, lavanderias e unidades de refrigeração para preaquecimento da água quente de utilização;
- analisar a viabilidade de instalação de coletores solares para o aquecimento de água em substituição aos aquecedores elétricos;
- quando utilizar coletores solares e os respectivos reservatórios térmicos adquirir equipamentos certificados pelo PROCEL — INMETRO.

15.3.10 Elevadores e Escadas Rolantes

15.3.10.1 Medidas de implementação a curto prazo

- implementar campanha junto aos usuários para evitar utilizar os elevadores quando se deslocarem para um andar acima ou um andar abaixo;
- identificar os horários de maior movimento de usuário para disponibilizar todos os elevadores. Fora desse horário reduzir o número de unidades em funcionamento;
- verificar a possibilidade de controlar os elevadores quando existir duas ou mais unidades, de forma a que atendam a andares alternados.

15.3.10.2 Medidas de implementação a médio e longo prazo

- dotar os elevadores de sistemas automáticos inteligentes para controle de tráfego, evitando o deslocamento simultâneo de mais de um elevador para atendimento a um mesmo chamado;
- reservar as áreas de atendimento ao público (clientes) no andar térreo para evitar o uso dos elevadores.
- instalar dispositivos inteligentes para cancelamento de chamadas falsas, isto é, se o elevador parar em mais de três andares sem que haja movimentação de usuários as demais chamadas serão canceladas;
- indicar na entrada da edificação os diversos locais de atendimento às diferentes questões de interesse do público (clientes), evitando desperdício de tempo e uso das instalações locais desnecessariamente, tais como elevadores, telefone, ar condicionado etc.;
- verificar a conveniência de instalar dispositivo de acionamento automático nas escadas rolantes.

15.3.11 Ar Comprimido

Uma fonte de desperdício de energia elétrica bastante conhecida é a operação do sistema de ar comprimido, cujos pontos básicos devem ser motivo de cuidados permanentes.

- a) Qualidade do ar comprimido
 - evitar que o ar comprimido seja contaminado pelo óleo ou pela água em alguma parte do processo;
 - as tomadas de ar devem ser providas de um ou dois filtros de abertura adequada ao tamanho das partículas em suspensão no local.
- b) Rede de distribuição
 - manter a pressão do sistema de ar comprimido tecnicamente adequado ao bom funcionamento da máquina;
 - nunca introduzir na rede do sistema de ar comprimido qualquer elemento restritor de pressão para atendimento às exigências de uma única máquina;
 - tentar evitar que o ar circulando em alta velocidade arraste o condensado formado no interior do sistema para os pontos de uso das máquinas, acarretando mal funcionamento das mesmas.
- c) Pressão
 - cada máquina deve receber do sistema a pressão nominal indicada pelo fabricante.
 - deve-se dimensionar tantas redes de distribuição de ar comprimido quantas forem as máquinas com pressões nominais diferentes.
- d) Vazamento nos dutos e válvulas
 - evitar vazamentos nos diversos elementos da rede de ar comprimido, pois a quantidade de ar desperdiçada é proporcional ao nível de pressão da rede.

15.3.12 Desequilíbrio de Tensão

As perdas ôhmicas nas instalações industriais são muito variadas. Como valor médio pode-se considerar, sob tensão equilibrada, da ordem de 3%. Essa perda pode ser avaliada para diferentes valores de desequilíbrio de tensão, de acordo com a Figura 15.12.

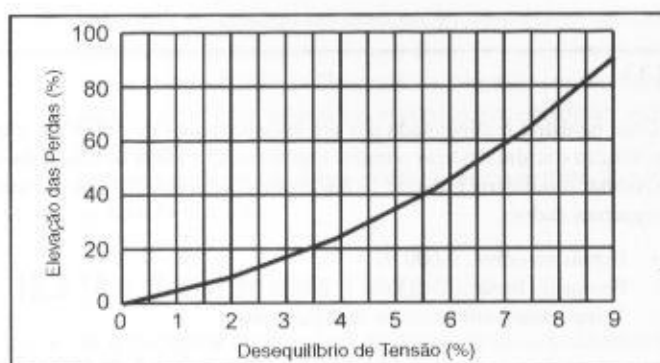


FIGURA 15.12
Curva de elevação das perdas elétricas em função do desequilíbrio de tensão

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (15.10)

Uma instalação industrial consome por mês 980.000 kWh, considerando que as tensões estão praticamente equilibradas. Porém, modificações na rede da concessionária resultaram nas seguintes tensões primárias entre fases: A-B: 13.810 V; B-C: 13.670 V; C-A: 13.790 V. Determinar o aumento das perdas ôhmicas da indústria.

- a) Perdas normais aproximadas do sistema com tensão equilibrada

$$P_p = \frac{3}{100} \times 990.000 = 29.700 \text{ kWh}$$

b) Desequilíbrio percentual de tensão

$$\Delta V = \frac{13.810 - 13.670}{13.800} \times 100 = 1,01\%$$

c) Perdas do sistema sob tensão desequilibrada (veja Figura 15.12)

$$\Delta P = \frac{4}{100} \times 29.700 = 1.188 \text{ kWh}$$

d) Custo das perdas considerando uma tarifa média mensal de US\$ 55,00/MWh, tem-se:

$$C_p = 1.188 \times \frac{55,00}{1.000} = \text{US\$ } 65,34/\text{mês}$$

15.3.13 Carregamento dos Transformadores

A operação dos transformadores de força deve ser estudada para evitar desperdícios de energia elétrica. Assim, logo no projeto da indústria deve-se considerar a possibilidade de utilizar transformadores de luz e força separadamente.

As principais ações que devem ser implementadas num estudo de eficiência energética na utilização dos transformadores são:

- utilizar transformador para iluminação em indústrias com baixo fator de carga;
- utilizar subestações unitárias próximas a grandes cargas concentradas;
- desligar os transformadores em operação a vazio no período de carga leve (não há deterioração do óleo);
- verificar as perdas de transformadores antigos e comparar com as perdas dos transformadores novos;
- projetar os Quadros de Comando (QGF — Quadro Geral de Força e QGL — Quadro Geral de Luz) de forma a possibilitar a transferência de carga entre transformadores de força e entre transformadores de iluminação, mantendo o nível de carregamento adequado próximo a 80%;
- adquirir transformadores com baixas perdas no ferro e no cobre;
- em geral, os transformadores possuem rendimento elevado, não se obtendo grandes economias quando operados nos níveis de carregamento anteriormente definidos.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (15.11)

Uma indústria é alimentada por um transformador de 500 kVA e outro de 225 kVA. O engenheiro de manutenção decidiu desligar o maior transformador todos os dias após o término do expediente e nos finais de semana. A indústria trabalha 10 horas por dia durante 22 dias por mês. O transformador de 500 kVA tem os seguintes dados:

- Perdas no cobre: 6.000 W
- Perdas no ferro: 1.700 W
- Tempo anual em horas de desligamento

$$T = (22 \text{ dias} \times 14 \text{ h} + 8 \text{ dias} \times 24 \text{ h}) \times 12 = 6.000 \text{ horas}$$

- Economia de energia durante o ano

$$E_{\text{per}} = \frac{1.700 \text{ W}}{1.000} \times 6.000 \text{ h} = 10.200 \text{ kWh}$$

Para uma tarifa média de US\$ 55,00/MWh, o valor da economia anual é de:

$$E_{\text{eco}} = \frac{10.200 \times 55}{1.000} = \text{US\$ } 561,00$$

15.3.14 Instalação Elétrica

A execução, de modo sistemático, de um adequado programa de manutenção das instalações elétricas está inserida no contexto da filosofia de conservação de energia elétrica, visto que a sua ausência implica aumento de perdas térmicas, custos adicionais imprevistos em virtude da incidência de defeitos nas instalações, maior consumo, maior probabilidade de ocorrência de incêndios etc. Portanto, deve-se seguir as seguintes orientações:

15.3.14.1 Recomendações gerais

- verificar a instalação elétrica periodicamente para localizar defeitos monopolares (fugas de corrente) por deficiência da isolação ou emendas de condutores mal executadas;
- verificar se os condutores elétricos dos circuitos estão dimensionados adequadamente para a carga instalada.

15.3.14.2 Limpeza e conservação

As tarefas de limpeza, quando bem planejadas, podem reduzir o consumo de energia elétrica. Para tal, sempre que possível, implementar os seguintes procedimentos:

- as tarefas de limpeza devem ser realizadas durante o dia;
- deve-se iniciar as tarefas de limpeza nos andares superiores das edificações de vários pavimentos, mantendo-se desligada a iluminação dos ambientes dos demais pavimentos.

15.3.14.3 Segurança

A segurança nas instalações elétricas deve ser motivo para implementação de rotinas, de forma a eliminar a possibilidade falhas ou procedimentos perigosos.

Algumas recomendações de segurança podem ser adotadas.

- o uso de conexões do tipo "T" é uma prática muito perigosa e que deve ser evitada, principalmente quando diversos aparelhos elétricos são ligados numa mesma tomada;
- inspecionar periodicamente as instalações elétricas, substituindo imediatamente os condutores elétricos desgastados;
- evitar empregar condutores já utilizados e cujo estado de conservação esteja a desejar;
- substituir os condutores com seção transversal inferior às necessidades da carga a ser alimentada;
- segurar pelo bulbo as lâmpadas queimadas, evitando tocar o soquete;
- ao trabalhar com aparelhos elétricos em operação, evitar tocar em canos d'água ou de gás canalizado;
- antes de realizar qualquer intervenção na instalação elétrica desligue a chave correspondente àquele circuito.

15.3.14.4 Proteção para a instalação

- se o disjuntor ou o fusível de proteção de um circuito operar procure identificar a causa antes de religar o mencionado disjuntor ou substituir o fusível;
- nunca prenda a alavanca do disjuntor se este dispositivo realizar disparos contínuos;
- nunca use arames ou fios de qualquer espécie em substituição aos fusíveis.

15.3.14.5 Motivos de fugas de corrente

- condutores elétricos com isolação ressequida, normalmente por uso inadequado;
- emendas mal executadas;
- deficiência da isolação devido a perfurações por objetos obtusos ou dentada de ratos;
- aparelhos consumidores com defeito.

15.3.15 Administração do Consumo de Energia Elétrica

A administração do consumo de energia elétrica numa instalação industrial é de fundamental importância para obtenção de ganhos de produtividade. Assim, a administração de energia deve envolver o projeto, a construção, a implantação e a operação da planta. Os principais procedimentos que devem envolver essa tarefa são:

a) Projeto e construção

Devem ser considerados os seguintes aspectos:

- iluminação: máximo aproveitamento da iluminação natural;
- ventilação: máximo aproveitamento dos ventos;
- tensão: adotar a tensão trifásica de distribuição que produza menores perdas, como, por exemplo, 440 V em vez de 380 V para o sistema de força. Nunca adotar o sistema 220 V para o sistema de força;
- subestação: adotar uma ou mais subestações de forma que fiquem mais próximas aos centros de carga;
- condutores elétricos: dimensionar os condutores elétricos de forma a se obter menores perdas. Esse assunto pode visto na Seção 15.3.2 deste capítulo;
- máquinas: selecionar as máquinas que levem em consideração a eficiência energética, dando preferência aos modelos que apresentem menores perdas ou menor consumo específico para realizar a mesma tarefa.

b) Programação e controle da produção

Uma produção industrial bem programada resulta normalmente em economia de energia elétrica. Para essa programação, deve-se considerar:

- devem-se evitar os picos de produção para não onerar a conta de energia no quesito demanda máxima mensal;
- operar as máquinas o mais próximo possível de sua capacidade nominal;
- sempre que possível, a produção deve ser contínua;
- as cargas eletrointensivas, sempre que possível, devem operar nos períodos fora de ponta.

c) Especificação do produto fabricado

- reavaliar a especificação técnica do produto, sempre que possível, de forma a reduzir o seu consumo de energia;
- selecionar adequadamente, sob o ponto de vista de eficiência energética, os materiais a serem aplicados na fabricação do produto.

d) Aprimoramento dos processos produtivos

Questionar a forma e o processo pelos quais cada produto é fabricado, de forma a resultar em menor consumo de energia e maior rentabilidade.

e) Qualidade do produto acabado

Quando o produto é inspecionado ao longo da linha de produção, o índice de rejeição é drasticamente reduzido, o que reduz a energia gasta no total dos produtos fabricados, pois, se a qualidade de melhora reduz a quantidade de energia agregada aos refugos.

f) Automação dos processos

A automação, além de aumentar a produtividade da planta industrial, melhora a qualidade do produto acabado, reduz a quantidade de matéria-prima utilizada a ele agregada, reduzindo o consumo de energia elétrica ao longo do processo de fabricação.

g) Manutenção industrial

- quando uma máquina opera fora de suas condições nominais, consome, em geral, mais energia do que necessita para fabricar o produto;
- recuperar os vazamentos de água potável, de forma a evitar o excesso de bombeamento;
- recuperar os vazamentos de ar comprimido, de forma a evitar o excesso de funcionamento do compressor;

- recuperar o sistema de ar condicionado no que tange ao isolamento térmico dos dutos;
- lubrificar de acordo com o manual de manutenção as máquinas operatrizes.

5.3.16 Controle de Demanda

Como já foi estudado, a demanda de potência representa um custo expressivo nos custos operacionais de uma instalação industrial. Assim, a indústria deve operar com a menor demanda possível, sem, no entanto, prejudicar o processo produtivo.

Dessa forma, o controle de demanda deve ser realizado dentro de uma estreita faixa para que a demanda contratada não seja superada pela demanda de carga acima dos limites legais previstos em contrato.

Como se sabe, para efeito de faturamento, a demanda é integralizada pelos medidores da concessionária a cada intervalo de 15 minutos. Para que o valor da demanda de carga não supere a demanda contratada utiliza-se o controlador de demanda. Para isso, é necessário que se estabeleça uma programação de entrada e saída das cargas elétricas da instalação ao longo do ciclo de carga, notadamente no período de ponta de carga. Essa programação deve priorizar as cargas que serão inicialmente desligadas até atingir o valor de demanda aceitável. Para se estimar o quanto é possível reduzir a demanda de carga, basta aplicar a Equação (23).

$$R_d = \frac{\sum [(P_{nm} \times 0,736 \times F_u \times T_d) + P_c \times T_d]}{15} \quad (\text{kW}) \quad (15.23)$$

- P_{nm} – potência nominal do motor;
- P_c – potência nominal das demais cargas;
- F_u – fator de utilização do motor;
- T_d – tempo de desligamento da carga em minutos;
- η – rendimento do motor.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (15.12)

Uma determinada indústria possui quatro grandes motores que podem ser desligados por pequenos intervalos de tempo e cujas potências são 100, 150, 2 × 200 cv. A demanda máxima da carga é de 625 kW. Se for possível desligar os referidos motores durante os tempos a seguir programados a cada 15 minutos durante um dia de serviço, ao longo de um mês, poderá ser obtida uma redução de demanda da instalação, ou seja:

- Motor de 100 cv: 5 minutos
- Motor de 150 cv: 4 minutos
- Motor de 200 cv: 3 minutos
- Motor de 200 cv: 5 minutos

A redução de demanda será de:

$$R_d = \frac{\frac{100 \times 0,736 \times 0,87}{0,92} \times 5 + \frac{150 \times 0,736 \times 0,87}{0,95} \times 4}{15} + \frac{\frac{200 \times 0,736 \times 0,87}{0,95} \times 3 + \frac{200 \times 0,736 \times 0,87}{0,95} \times 5}{15}$$

$$R_d = \frac{348,0 + 404 + 404,4 + 674,0}{15} = 122 \text{ kW}$$

Os fatores de utilização e rendimento dos motores podem ser obtidos, respectivamente, na Tabela. 6.3. Logo, a nova demanda máxima será de 625 – 122 = 503 kW, que corresponde a uma redução de 19,5% na demanda.

Deve-se observar que esta solução implica a verificação da capacidade de manobra dos motores, das chaves de acionamento, das proteções e dos condutores elétricos, já que o número de desligamentos é muito elevado. Essa solução somente encontra praticidade em cargas com inércia térmica, tais como câmaras frigoríficas, aquecedores e similares.

15.3.17 Geração na Hora de Ponta

A geração na hora de ponta é considerada uma ação de eficiência energética sob o ponto de vista de otimizar o sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Do ponto de vista da indústria o enfoque passa ser a redução da fatura de energia elétrica devido ao alto preço das tarifas de demanda no horário de ponta de carga.

Este assunto será tratado no Capítulo 16.

15.3.18 Co-geração

Este assunto será tratado convenientemente no Capítulo 16, já que envolve a implementação de uma unidade de geração.