



15.1 Introdução

As sucessivas crises energéticas iniciadas em 1971, denominada *crise do petróleo* — que culminaram com a decisão dos países que compunham a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) 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\$ 40,00 e US\$ 70,00.

Declarada a crise, os governos e as sociedades, em geral, foram se conscientizando de que era necessário conter os desperdícios de energia e implementar programas para alcançar esse objetivo. No Brasil, os Ministérios das Minas e Energia e da 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 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 das áreas industrial, comercial e de iluminação pública, buscando melhor utilização da energia consumida. No momento, o Procel, órgão vinculado à Eletrobras, é o responsável direto pela execução das políticas de efficientização energética, agindo das mais diferentes formas, 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 Consultoria e Projetos Elétricos (CPE), associada a uma extensa pesquisa de publicações especializadas, notadamente aquelas editadas pelo Procel.

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

- Iluminação.
- Condutores elétricos.
- Fator de potência.
- Motores elétricos.
- Consumo de água.

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

15.2 Levantamento e medições

Antes de desenvolver quaisquer ações de eficiência energética que envolvam custos, deve-se inicialmente realizar um levantamento dos aparelhos elétricos instalados nos diferentes segmentos da indústria, conforme anteriormente indicado. Após obtidos esses resultados, é necessário realizar medições de parâmetros elétricos, como energia, demanda ativa e reativa, corrente, tensão e fator de potência. Para instalações industriais com grande número de equipamentos de comutação e chaveamento, como retificadores, *nobreaks*, inversores etc., é necessário realizar medições de componentes harmônicos de tensão e corrente para fins de avaliação de sua contribuição no desempenho do sistema elétrico.

As medições devem ser realizadas com medidores digitais com memória de massa, que permitam obter graficamente as curvas dos valores medidos. Como exemplo, pode-se citar o aparelho de medição SAGA 4000, mostrado na [Figura 1.12](#). A seleção dos pontos de medição depende do objetivo do estudo de eficiência energética. Para um estudo completo da instalação, devem ser realizadas medições nos seguintes pontos:

- Quadros de luz (QL)

Essa medição pode ser feita por meio de uma leitura instantânea. O valor da energia pode ser obtido considerando o tempo médio de funcionamento de cada setor.

- Terminais dos motores

No caso de pequenos motores, as medições devem ser feitas em seus terminais por meio de uma leitura instantânea. São considerados motores pequenos aqueles cuja potência nominal é igual ou inferior a 5 cv. Para motores com potência superior a 5 cv, mas que operam de forma contínua e com carga uniforme, basta obter também uma leitura instantânea ou de pequena duração, em torno de quatro horas. Para motores que operam de forma não contínua e com carga não uniforme, é necessário realizar uma medição que caracterize pelo menos um ciclo operacional da máquina. Utilizando esses procedimentos, é possível obter resultados que indiquem a substituição ou não dos motores.

- Centros de controle dos motores (CCM)

Essa medição tem por objetivo básico obter informações do consumo de energia, níveis de tensão e de distorção harmônica. Pode-se adotar como satisfatória uma medição por um período de 24 horas.

- Quadro geral de força (QGF)

Essa medição tem por objetivo principal avaliar os ganhos obtidos a partir da implementação das medidas de eficiência energética. Para isso, é necessário que as medições sejam realizadas durante a fase de levantamento e após a conclusão das ações desenvolvidas. A diferença entre os valores de energia e demanda das duas medições mostra os ganhos obtidos com o projeto.

Essa medição deve ser realizada por um período mínimo de uma semana

para que se possam obter resultados satisfatórios. Com os resultados das demandas ativas horárias obtidas a cada dia, organiza-se uma tabela horária média a partir da soma das demandas respectivas de cada dia em cada horário. Por exemplo, o valor da demanda média de 73 kW registrada no horário de 11:45 horas mostrada na [Tabela 15.1](#) (parte da medição completa) é o resultado da média dos valores de demanda dos dias da semana, nesse mesmo horário. Já o gráfico da [Figura 15.1](#) mostra a formação das curvas registradas no período de medição. Para efeito de avaliação dos resultados, devem ser consideradas apenas as curvas médias das medições realizadas antes e depois das ações de eficiência energética.

Para se determinar o consumo médio mensal da instalação a partir dos resultados das medições, pode-se calcular a taxa média de consumo. Para melhor explicar o assunto, seguir o método numérico aplicado sobre os resultados de uma medição:

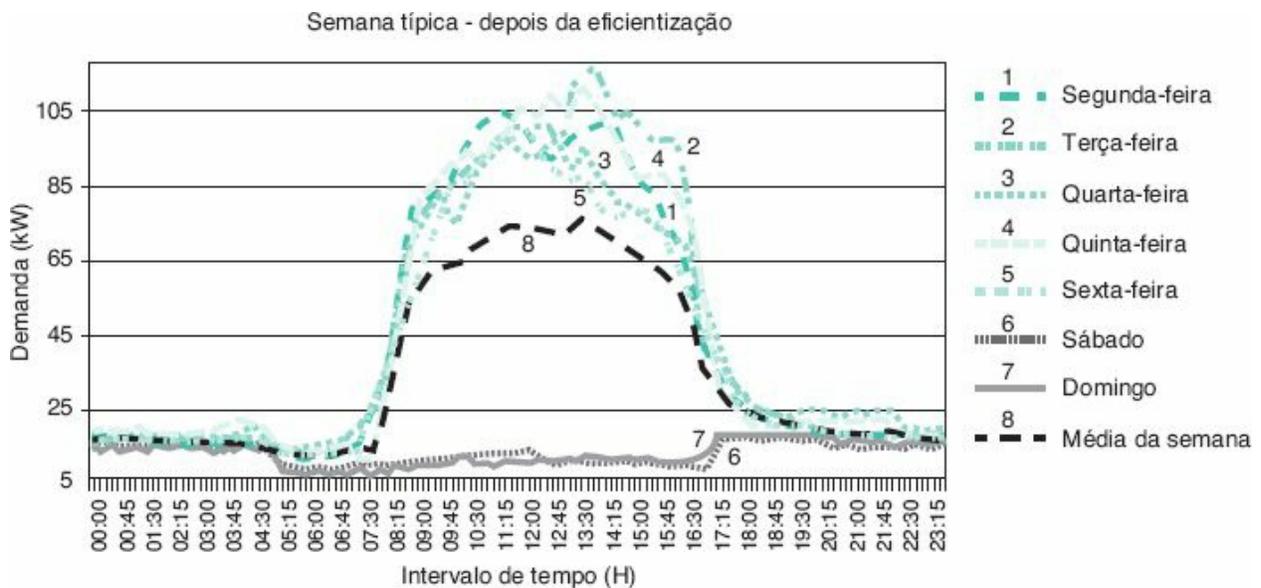


Figura 15.1 Curva de carga semanal.

Tabela 15.1 Medição semanal (kW)

	Segunda-	Terça-	Quarta-	Quinta-	Sexta-	Média
--	----------	--------	---------	---------	--------	-------

Hora	feira	feira	feira	feira	feira	Sábado	Domingo	da semana
10:45	98	87	85	90	88	12	9	67
11:00	98	92	88	91	92	12	9	69
11:15	101	91	91	90	95	12	9	70
11:30	102	94	92	95	96	13	10	72
11:45	102	97	94	102	95	12	10	73
12:00	101	98	92	103	98	11	10	73
12:15	97	97	89	102	97	13	9	72
12:30	91	96	91	101	96	10	10	71
12:45	90	99	93	106	88	10	10	71
13:00	91	95	96	106	87	9	10	71
13:15	93	97	89	102	83	10	11	69
13:30	96	109	87	107	85	10	10	72
13:45	96	111	94	110	86	10	11	74
14:00	98	114	90	104	81	10	11	72
14:15	99	111	85	101	76	9	11	70
14:30	99	105	82	98	74	10	10	68

14:45	98	100	78	95	75	9	11	67
15:00	90	102	79	88	77	9	11	65
15:15	85	101	76	84	76	10	10	63
15:30	82	96	76	85	76	9	11	62
15:45	82	95	72	87	72	9	10	61

- Dados da medição realizada
 - demanda máxima mensal: 990,5 kW (máxima registrada durante o período de medição);
 - consumo de energia ativa: 89.050 kWh (energia registrada no aparelho durante o período de medição);
 - data de início da medição: 12/11/2009;
 - data do fim da medição: 19/11/2009;
 - hora de início da medição: 12:15 h;
 - hora do fim da medição: 12:00 h;
 - tempo de duração da medição: 167,75 h.
- Determinação da taxa de consumo médio

$$T_{cm} = \frac{89.050}{167,75} = 530,84 \text{ kWh/h}$$

- Determinação do consumo médio mensal

$$T_{cm} = 530,84 \text{ kWh/h} \times 24 \text{ h} \times 30 \text{ dias} = 382.204 \text{ kWh/mês}$$

15.3 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 sua implementação. Não é razoável adotar procedimentos para efficientizar 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 (VPL), 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 pela [Equação \(15.1\)](#):

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

F_{ac} - fluxos acumulados, em R\$;

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

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.

Com esse método pode-se determinar o tempo de retorno do investimento, observando-se a planilha de cálculo da [Tabela 15.2](#) ou o gráfico da [Figura 15.2](#). Quando a curva dos fluxos acumulados tocar a reta representativa do investimento, obtém-se o tempo de retorno do investimento realizado.

Exemplo de aplicação (15.1)

Determinada indústria instalou uma usina de geração térmica auxiliar de 350 kW a gás natural,

com um investimento de R\$ 560.000,00. As despesas anuais com a operação e manutenção serão de R\$ 10.000,00, enquanto as despesas anuais com o gás natural serão de R\$ 31.040,00. A usina irá operar no horário de ponta de carga. A energia paga à concessionária no horário de ponta, contabilizando os 22 dias úteis do mês, ao longo de um ano, vale R\$ 209.160,00. Determinar o tempo de retorno do investimento a uma taxa de desconto de 16 % ao ano.

Valor da receita anual: R\$ 209.160,00 (valor que a indústria deixará de pagar à concessionária).

Valor das despesas anuais: R\$ 10.000,00 + R\$ 31.040,00 = R\$ 41.040,00.

Valor da receita líquida ou fluxo de caixa descontado: R\$ 209.160,00 – R\$ 41.040,00 = R\$ 168.120,00.

Aplicando a Equação (15.1), tem-se:

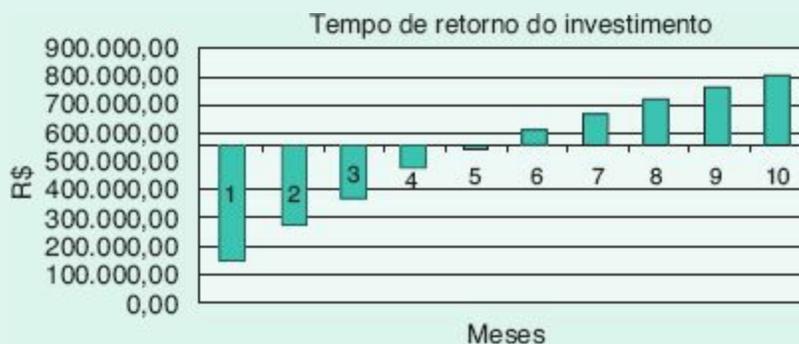


Figura 15.2 Tempo de retorno do investimento.

Tabela 15.2 Valor presente líquido

Cálculo do VPL (Anual)					
Investimento em R\$:					560.000,00
Taxas de juros mensais					1,1600
Ano	Valor das receitas anuais (R\$)	Valor das despesas anuais (R\$)	Receitas (R\$)	Fluxo atualizado (R\$)	Fluxos acumulados (R\$)

1	209.160,00	41.040,00	168.120,00	144.931,03	144.931,03
2	209.160,00	41.040,00	168.120,00	124.940,55	269.871,58
3	209.160,00	41.040,00	168.120,00	107.707,37	377.578,95
4	209.160,00	41.040,00	168.120,00	92.851,18	470.430,13
5	209.160,00	41.040,00	168.120,00	80.044,12	550.474,25
6	209.160,00	41.040,00	168.120,00	69.003,55	619.477,80
7	209.160,00	41.040,00	168.120,00	59.485,82	678.963,62
8	209.160,00	41.040,00	168.120,00	51.280,88	730.244,50
9	209.160,00	41.040,00	168.120,00	44.207,65	774.452,16
10	209.160,00	41.040,00	168.120,00	38.110,05	812.562,20

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

$$F_{ac} = \frac{168.120,00}{(1+0,16)^1} + \frac{168.120,00}{(1+0,16)^2} + \frac{168.120,00}{(1+0,16)^3} + \frac{168.120,00}{(1+0,16)^4} + \frac{168.120,00}{(1+0,16)^5} + \frac{168.120,00}{(1+0,16)^6} + \frac{168.120,00}{(1+0,16)^7} + \frac{168.120,00}{(1+0,16)^8}$$

$$F_{ac} = 144.931,03 + 124.940,54 + 107.707,36 + 92.851,17 + 80.044,12 + 69.003,55 + 59.485,82 + 51.280,87$$

$$F_{ac} = R\$ 730.244,46$$

Este valor pode ser determinado na planilha de cálculo da Tabela 15.2, observando-se no 8º mês um fluxo de caixa acumulado de R\$ 730.244,46.

Observar também na planilha de cálculo da Tabela 15.2 que no início do 6º ano o fluxo de caixa acumulado é de R\$ 619.477,80, um pouco superior ao valor do investimento, que é de R\$

560.000,00. Assim, nessas condições, a usina estaria paga no 6º ano, considerando uma taxa de juro de 16 % ao ano.

15.4 Ações de eficiência energética

15.4.1 Iluminação

No Brasil, a iluminação representa atualmente cerca de 15 % de toda a energia consumida, o que equivale aproximadamente a 58.000 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 constitui uma das principais fontes de desperdício de energia elétrica, devido à diversidade de pontos de consumo, ao uso generalizado do serviço e ao frequente emprego de aparelhos de baixa eficiência. Para reduzir o desperdício neste segmento, é necessário seguir as orientações a seguir definidas.

15.4.1.1 Medidas de implementação de curto prazo

- Utilizar lâmpadas adequadas para cada tipo de ambiente, conforme se sugere no Capítulo 2.
- Utilizar telhas translúcidas nos galpões industriais em que 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 espelhado, 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 seu rendimento.
- Evite o uso de lâmpadas do tipo incandescentes, como, por exemplo, as lâmpadas halógenas.
- Se as lâmpadas halógenas instaladas em forro estão posicionadas no seu interior, em conformidade com a [Figura 15.3\(a\)](#), devem ser reposicionadas para a condição da mesma figura, vista (b). A mesma instrução deve ser aplicada para as lâmpadas fluorescentes, conforme a [Figura 15.4](#).
- Em áreas externas, como estacionamentos, locais de carga e descarga etc., utilizar, usar 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 15.4](#).
- 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 15 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.

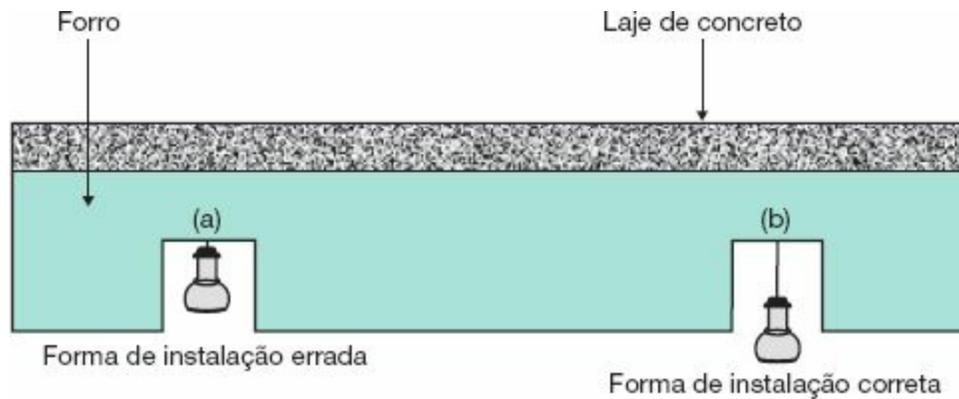


Figura 15.3 Posição das lâmpadas halógenas embutidas no forro.

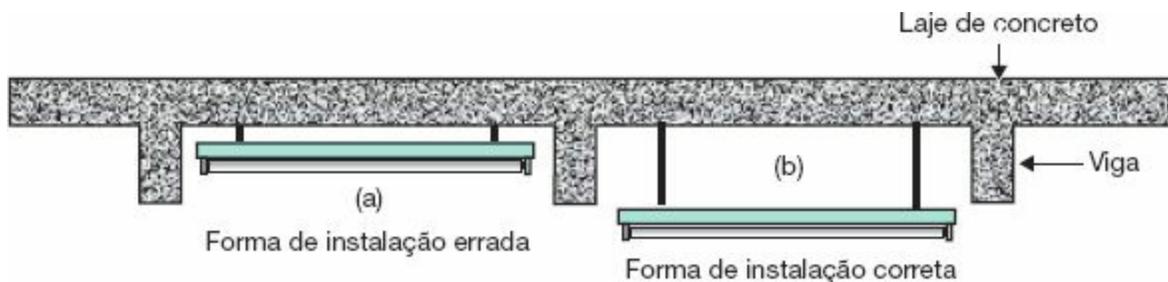


Figura 15.4 Posição das lâmpadas fluorescentes instaladas no teto.

- Utilizar lâmpadas LEDs na forma de projetores em galpões industriais. O custo tende aproximar-se ao da solução com projetores com lâmpadas de vapor metálico.
- 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 15.3](#).

Tabela 15.3 Equivalência de fluxo luminoso entre lâmpadas incandescentes e compactas

Tensão	Lampadas incandescentes	Lâmpadas compactas
Volts	Watts	
127	25	5
	40	9
	50	13
	60	
	70	15
	75	
	80	20
	90	25
220	100	
	25	5
	30	
	40	9
	50	11
	60	

70	15
75	
80	20
90	23
100	25

- Utilizar lâmpadas de maior eficiência possível e que podem ser escolhidas a partir da [Tabela 15.4](#).
- Utilizar reatores de maior eficiência. Os reatores eletrônicos são aqueles que apresentam uma eficiência energética muito superior aos reatores convencionais, ou seja, reatores eletromagnéticos.
- Utilizar luminárias de maior aproveitamento energético. A eficiência de uma luminária pode ser medida relacionando o fluxo emitido pelas lâmpadas e o fluxo que deixa a luminária. As luminárias também devem ser escolhidas em função da curva de distribuição da intensidade luminosa. Esse é um ponto difícil para o projetista. Assim, se uma luminária caracterizada por sua curva luminotécnica foca com maior intensidade o plano de trabalho e com menor intensidade as paredes, apresenta uma maior eficiência energética. No entanto, do ponto de vista do observador, o ambiente lhe parece escuro, apesar de o nível de iluminação estar adequado ao tipo de tarefa do ambiente, pois a avaliação inicial dá preferência à iluminação das paredes. Isto é a prática das empresas que trabalham em eficiência energética na substituição de lâmpadas e luminárias comuns por equipamentos eficientes.

Tabela 15.4 Eficiência luminosa das lâmpadas elétricas (lm/W)

Tipo de lâmpada	Valor médio	Valor máximo
Incandescente	13	17
Halógena	17	25
Vapor de mercúrio	50	55
Fluorescente compacta	60	87
Fluorescente tubular	80	95
Multivapor metálico	80	95
LED	80	160
Sódio de alta pressão	100	138
Sódio de baixa pressão	150	200

A [Tabela 15.3](#) mostra a equivalência de fluxo luminoso entre lâmpadas incandescentes e compactas do tipo eletrônica, com reator incorporado. A [Tabela 15.4](#) indica a eficiência luminosa de vários tipos de lâmpadas comerciais. Já a [Tabela 15.5](#) mostra a equivalência de fluxo luminoso entre alguns tipos de lâmpadas de uso comum em instalações comerciais e industriais (áreas administrativas).

Está em ascensão o uso de LEDs nos sistemas de iluminação. São aplicados especialmente em residências, hotéis, motéis e mais recentemente na indústria. Consomem pouca energia e têm uma vida útil muito elevada.

15.4.1.2 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 limpos 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 tal 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 recobre as superfícies das luminárias e lâmpadas. Nestes locais, é conveniente proceder a limpeza desses aparelhos a cada dois meses.

Tabela 15.5 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

- 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 %.
- 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 em conformidade com nível de poluição do ambiente industrial.
- De outra forma, devem-se limpar as luminárias sempre que ocorrer a troca das lâmpadas nela instaladas.
- Limpar ou pintar periodicamente as paredes e o teto, mantendo o piso sempre limpo.

Para facilitar as ações de manutenção da indústria, observar as [Tabelas 15.6, 15.7 e 15.8](#).

A [Tabela 15.9](#) ilustra uma sequência de cálculo para avaliar o potencial de economia que pode ser encontrado em um determinado ambiente.

Tabela 15.6 Distúrbios no funcionamento de lâmpadas fluorescentes

Origem das causas	Causas prováveis	Solução
Lâmpada que acende e apaga constantemente	Lâmpada em uso além da sua vida útil Starter com defeito	Substituição da lâmpada Substituição do starter
Baixo fluxo luminoso	Lâmpada em uso além da sua vida útil	Substituição da lâmpada

Verificar as instalações internas ou

Dificuldades para acender a lâmpada	Tensão da instalação inferior a 93 % da tensão nominal Reator inadequado para a lâmpada Temperatura do ambiente inferior à mínima recomendada pelo fabricante	reclamar à concessionária de energia Substituição do reator Substituição da lâmpada ou da luminária por aparelhos adequados ao ambiente
Lâmpadas com os terminais luminosos	Starter com defeito (curto-circuito) Reator com defeito	Substituição do starter Substituição do reator
Lâmpadas que não acendem	Ligações do reator e lâmpadas incorretas Starter com defeito Eletrodos com defeito	Corrigir a ligação Substituição do starter Substituição dos eletrodos

Tabela 15.7 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 93 % da tensão nominal Obstrução da luz por sujeira das lâmpadas Obstrução da luz por sujeira da luminária Lâmpada em uso além da sua vida útil Reator não recomendado Reator com defeito	Verificar as instalações internas ou reclamar à concessionária de energia Limpeza da lâmpada Limpeza da luminária Substituição da lâmpada Substituição do reator Substituição do reator

Tabela 15.8 Distúrbios no funcionamento das lâmpadas vapor de sódio — alta pressão

Origem das causas	Causas prováveis	Solução
Ruptura do bulbo	Contato com superfícies frias Posição irregular de funcionamento da lâmpada Choques mecânicos ou vibrações da luminária por instalação em local não recomendado	Alterar a posição da lâmpada ou luminária Alterar a posição da lâmpada ou luminária de acordo com a orientação do fabricante Instalar dispositivos antivibratórios no ponto de instalação da luminária
Baixo fluxo luminoso	Tensão da instalação inferior a 93 % da tensão nominal Obstrução da luz por sujeira das lâmpadas Obstrução da luz por sujeira da luminária Lâmpada em uso além da sua vida útil Reator não recomendado Reator com defeito	Verificar as instalações internas ou reclamar à concessionária de energia Limpeza da lâmpada Limpeza da luminária Substituição da lâmpada Substituição do reator Substituição do reator

Tabela 15.9 Avaliação do potencial de economia em iluminação

Potencial de economia - Iluminação																																								
Ambiente	Lumin.	Lâmpadas atuais					Luminária															Lâmpadas a serem empregadas										Red. dem. futura	Red. energy futura							
		Mín.	Tipos	Por.	Quant.	Lumens (lm)	Total	Real W	H/d	D/m	kw	kw	kWh	Recheada	Aberta	Branca	Aluminiz.	Espelhada	Ion	Regular	Rolm	Branco	Claro	Escuro	S/ luz natural	Colm natural	Nº de Lâmp. Alum.	Nº de Eq./interruptor	Lâmp. Queimadas/ em falta	Tipos	Por.			Quant.	Total	Real W (W)	Dem.	Consumo	Red. kWh	Red. kWh
		Lux	-	W	-	W	W	H/d	D/m	kw	kw	kWh	Recheada	Aberta	Branca	Aluminiz.	Espelhada	Ion	Regular	Rolm	Branco	Claro	Escuro	S/ luz natural	Colm natural	Nº de Lâmp. Alum.	Nº de Eq./interruptor	Lâmp. Queimadas/ em falta	ID	Watts	-			Watts	W	kw	kWh	Red. kWh	Red. kWh	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
Quarita	150	F	20	29		580	87,0	8	30	0,67	0,67	160,08		X		X					X	X					1	2	0/0	F	1	16	1	16,0	1,6	0,02	4,22	0,6	155,86	
Copa	200	I	60	10		600	0,0	5	30	0,60	0,60	90,00		X							X	X					1	1	0/0	C	1	11	1	11,0	1,1	0,01	1,82	0,6	88,19	
Dep. Produtos Químicos	300	F	40	57		2.280	342,0	3	30	2,62	2,62	235,98		X							X	X					1	1	0/0	F	1	32	1	32,0	3,2	0,04	3,17	2,6	232,81	
Sector de Trituração	150	F	40	34		1.360	204,0	12	30	1,56	1,56	563,04		X	X	X					X	X					1	2	1/0	F	1	32	34	1.088,0	108,8	1,20	430,85	0,4	132,19	
Arquivo Morto	100	I	60	4		240	0,0	3	30	0,24	0,24	21,60		X							X	X					1	1	0/1	C	1	11	4	44,0	4,4	0,05	4,36	0,2	17,24	
WC	200	I	100	12		1.200	0,0	3	30	1,20	1,20	108,00		X							X	X					1	1	0/0	C	1	25	12	300,0	30,0	0,33	29,70	0,9	78,30	
Sala de Inspeção	200	F	20	10		200	30,0	12	30	0,23	0,23	82,80		X	X						X	X					2	1	1/0	F	1	16	10	160,0	16,0	0,18	63,36	0,1	19,44	
Subestação 300 kVA	200	F	40	5		200	30,0	3	30	0,23	0,23	20,70		X	X						X	X					1	2	1/0	F	1	32	5	160,0	16,0	0,18	15,84	0,1	4,86	
Casa (Bombas)	150	I	100	1		100	0,0	3	30	0,10	0,10	9,00		X							X	X					1	1	1/0	C	1	25	1	25,0	2,5	0,03	2,48	0,1	6,53	
Sector de Prensa	300	F	40	140		5.600	840,0	12	30	6,44	6,44	2.318,40		X							X	X					1	1	1/1	F	1	32	140	4.480,0	448,0	4,93	1.774,08	1,5	544,32	
Sector de Compressores	300	F	40	120		4.800	720,0	12	30	5,52	5,52	1.987,20		X							X	X					1	1	1/2	F	1	32	120	3.840,0	384,0	4,22	1.520,64	1,3	466,56	
Chaparia	200	F	40	120		4.800	720,0	12	30	5,52	5,52	1.987,20		X							X	X					1	1	1/3	F	1	32	120	3.840,0	384,0	4,22	1.520,64	1,3	466,56	
Sector de Corte	500	VM	125	120		15.000	2.250,0	12	30	17,25	17,25	6.210,00		X							X	X					1	1	1/4	VS	1	70	120	8.400,0	840,0	9,24	3.326,40	8,0	2.883,60	
Sector de Solda	500	MI	250	120		30.000	4.500,0	12	30	34,50	34,50	12.420,00		X							X	X					1	1	1/5	VS	1	70	120	8.400,0	840,0	9,24	3.326,40	25,3	9.093,60	
Totais					782							76,7	76,7	26.214,0																		689,0	30.796,0	3.079,6	33,9	12.023,9	42,8	14.190,1		

Notas:
F - lâmpada fluorescente
I - lâmpada incandescente
VM - lâmpada vapor de mercúrio
VI - lâmpada mária
VS - lâmpada vapor de sódio
C - lâmpada compacta
ID - índice de disponibilidade

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 em que, 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 por meio 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 com o levantamento das instalações, serão desenvolvidos os cálculos econômicos:

Horário de funcionamento: 13 horas/dia (das 7:00 às 20:00 horas)

Número de dias de funcionamento: 22 dias/mês

Funcionamento no horário de ponta: 55 horas/mês

$$17:30 \text{ às } 20:00 \text{ h} \rightarrow 2,5 \text{ horas} \times 22 \text{ dias} = 55 \text{ horas}$$

Funcionamento fora do horário de ponta: 231 horas/mês

$$22 \times 13 = 286 \text{ horas} - 55 \text{ horas} = 231 \text{ horas}$$

Período anual de funcionamento: 3.432 horas

Potência instalada atual: 212.458 W = 212,4 kW

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

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

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

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: $\frac{7.500 \times 0,40}{3.432 \div 12} = 10,4 \text{ meses}$

Obs.: foi atribuída uma redução de 60 % na vida útil das lâmpadas e reatores. É um valor prático conservador, já que esses aparelhos serão submetidos a uma qualidade de energia muito diferente das condições de ensaio para determinar sua vida útil.

Custo de troca de uma lâmpada fluorescente: R\$ 2,80

Custo de retirada de uma luminária: R\$ 4,40

Custo de instalação de uma luminária: R\$ 5,20

Custo de troca de um reator: R\$ 5,76

Preço de uma lâmpada fluorescente de 40 W: R\$ 8,68

Preço de uma lâmpada fluorescente de 20 W: R\$ 4,80

Preço de uma lâmpada fluorescente de 32 W: R\$ 13,64

Preço de uma lâmpada fluorescente de 16 W: R\$ 12,80

Preço de um reator eletromagnético de 40 W: R\$ 12,00

Preço de um reator eletromagnético de 20 W: R\$ 2,80

Preço de um reator eletrônico de 32 W: R\$ 26,32

Preço de um reator eletrônico de 16 W: R\$ 23,28

Vida útil dos reatores eletromagnéticos: 25.000 horas: $\frac{25.000 \times 0,40}{3.432 + 12} = 34,9$ meses

Vida útil dos reatores eletrônicos: 80.000 horas: $\frac{80.000 \times 0,40}{3.432 + 12} = 111,1$ meses

Tempo de garantia dos reatores eletrônicos: 5 anos

Quantidade de lâmpadas de 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 de 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: $3.720/34,9 = 106,6$

Quantidade de reatores de 20 W substituídos/mês: $196/34,9 = 5,61$

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 adequação e de substituição do corpo refletor da luminária: R\$ 12,80

Taxa de juros mensais: 2 %

Tarifa de energia paga pela indústria (tarifa azul — grupo tarifário A4)

- Demanda fora do horário de ponta: R\$ 7,93/MW
- Demanda no horário de ponta: R\$ 25,05/MW
- Consumo no horário de ponta seco: R\$ 353,01/MWh
- Consumo fora do horário de ponta seco: R\$ 219,47/MWh
- Consumo no horário de ponta úmido: R\$ 353,01/MWh
- Consumo fora do horário de ponta úmido: R\$ 219,47/MWh

b) Custo do investimento inicial do sistema novo

Material

– Lâmpada de 32 W: $1.860 \times 13,64$	R\$ 25.370,40
– Lâmpada de 16 W: $98 \times 12,80$	R\$ 1.254,40
– Reatores de 32 W: $1.860 \times 18,32$	R\$ 34.075,20
– Reatores de 16 W: $98 \times 23,28$	R\$ 2.281,44
Subtotal (1).....	R\$ 62.981,44

Custo da mão de obra

– Retirada das luminárias: $(1.860 + 98) \times 4,40$	R\$ 8.615,20
– Instalação das luminárias: $(1.860 + 98) \times 5,20$	R\$ 10.181,60
– Substituição do corpo refletor: $(1.860 + 98) \times 12,80$..	R\$ 25.062,40
Subtotal (2).....	R\$ 43.859,20
Total (1+2).....	R\$ 106.804,64

c) Custo anual de manutenção do sistema novo

Material

– Lâmpada de 32 W: $178,8 \times 13,64 \times 12$	R\$ 29.265,98
– Lâmpada de 16 W: $9,4 \times 12,80 \times 12$	R\$ 1.443,84
Subtotal (1).....	R\$ 30.709,82
– Reatores de 32 W: $16,7 \times 26,32 \times 12$	R\$ 5.274,52
– Reatores de 16 W: $0,88 \times 23,28 \times 12$	R\$ 245,83
Subtotal (2)	R\$ 5.520,35
Total (1+2).....	R\$ 36.230,17

Mão de obra para substituição

– Lâmpada de 32/16 W: $(178,8 + 9,4) \times 11,20 \times 12$	R\$ 25.294,08
– Reatores de 32 W: $(16,7 + 0,88) \times 23,04 \times 12$	R\$ 4.460,51
Subtotal (3).....	R\$ 29.754,59
Total anual (1+2+3).....	R\$ 65.984,76
Total mensal.....	R\$ 5.498,73

d) Custo anual de manutenção do sistema existente

Material

– Lâmpada de 40 W: $357,6 \times 8,68 \times 12$	R\$ 37.247,61
– Lâmpada de 20 W: $18,8 \times 4,80 \times 12$	R\$ 1.082,88
– Reatores de 40 W: $106,6 \times 12,00 \times 12$	R\$ 15.350,04
– Reatores de 20 W: $5,61 \times 11,20 \times 12$	R\$ 753,98
Subtotal (1).....	R\$ 54.434,51

Mão de obra para substituição

– Lâmpada de 40/20 W: $(357,6 + 18,8) \times 2,80 \times 12$	R\$ 12.636,60
– Reator de 40/20 W: $(106,6 + 5,61) \times 5,76 \times 12$	R\$ 7.755,95
Subtotal (2)	R\$ 20.392,50
Total anual (1+2)	R\$ 74.827,06
Total mensal	R\$ 6.235,58

Tabela 15.10 Custo anual da energia do sistema existente

Custo anual de energia - tarifa azul								
Tarifa sem ICMS			Período		Demanda	Consumo		De
Descrição	R\$/kW	R\$/MWh	Horas/mês	Mês/ano	kW	kWh/mês	kWh/ano	R/m
Demanda FP	7,930	-	-	12	212,4	-	-	1.68
Demanda P	25,050	-	-	12	212,4	-	-	5.32
Consumo	-	219,47	-	7	-	49.064	343.448	10.76

FPS								
Consumo PS	-	353,01	-	7	-	11.682	81.774	4.12
Consumo FPU	-	219,47	-	5	-	49.064	245.320	10.76
Consumo PU	-	353,01	-	5	-	11.682	58.410	4.12
Total							728.952	.

Total mensal - R\$/mês

Tarifa média mensal - R\$/MWh

Tabela 15.11 Custo anual da energia do sistema novo

Custo anual de energia - tarifa azul							
Tarifa sem ICMS			Período		Demanda	Consumo	
Descrição	R\$/kW	US\$/MWh	Horas/mês	Mês/ano	kW	kWh/mês	kWh/an
Demanda FP	7,930	-	-	12	80,4	-	-
Demanda P	25,050	-	-	12	80,4	-	-
Consumo FPS	-	219,47	-	7	-	18.572	130.004

Consumo PS	-	353,01	-	7	-	4.422	30.954
Consumo FPU	-	219,47	-	5	-	18.572	92.860
Consumo PU	-	353,01	-	5	-	4.422	22.110
Total							275.924

Total mensal - R\$/mês

Tarifa média mensal - R\$/MWh

Tabela 15.12 Valor presente líquido

Cálculo do VPL (anual)							
Investimento em R\$:							106.804,64
Taxas de juros mensais							1,0400
Mês	Sistema existente		Sistema novo		Receitas (R\$)	Fluxo atualizado (R\$)	Fluxos acumulados (R\$)
	Energia	O&M	Energia	O&M			
1	21.896,89	6.235,58	8.288,60	5.498,73	14.345,14	13.793,40	13.793,40
2	21.896,89	6.235,58	8.288,60	5.498,73	14.345,14	13.262,89	27.056,29
3	21.896,89	6.235,58	8.288,60	5.498,73	14.345,14	12.752,78	39.809,07

4	21.896,89	6.235,58	8.288,60	5.498,73	14.345,14	12.262,29	52.071,36
5	21.896,89	6.235,58	8.288,60	5.498,73	14.345,14	11.790,66	63.862,01
6	21.896,89	6.235,58	8.288,60	5.498,73	14.345,14	11.337,17	75.199,19
7	21.896,89	6.235,58	8.288,60	5.498,73	14.345,14	10.901,13	86.100,31
8	21.896,89	6.235,58	8.288,60	5.498,73	14.345,14	10.481,85	96.582,17
9	21.896,89	6.235,58	8.288,60	5.498,73	14.345,14	10.078,71	106.660,87
10	21.896,89	6.235,58	8.288,60	5.498,73	14.345,14	9.691,06	116.351,94

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 15.10 e 15.11. Pode-se observar que os valores da tarifa média são os mesmos, como era de se esperar.

A partir da planilha de cálculo da Tabela 15.12, determina-se o tempo de retorno de investimento, que é de aproximadamente nove meses e que pode ser constatado por meio da Figura 15.5.



Figura 15.5 Gráfico do tempo de retorno do investimento.

15.4.2 Condutores elétricos

O dimensionamento dos condutores elétricos, incluindo-se aí a escolha de sua isolamento, pode conduzir projetos de baixas 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, o local da subestação próxima à carga.
- Evitar o uso de cabos XLPE ou EPR, a plena carga, de acordo com a capacidade dos mesmos. A elevação de temperatura do condutor faz crescer a resistência elétrica, conforme valores definidos na [Tabela 15.13](#).
- Aplicar a melhor maneira de instalar os condutores na forma permitida para cada particularidade do projeto.

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

De acordo com a [Tabela 15.14](#).

d) Valor econômico da seção do condutor

Pode ser calculado de acordo com 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.

Tabela 15.13 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

e) Cálculo da seção econômica de um condutor

Pode ser calculado de acordo com a [Equação \(15.3\)](#):

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

I_c - corrente de carga;

N_a - número de anos considerados no cálculo (tempo de operação do cabo);

N_h - número de horas por ano de funcionamento;

G - custo médio do cabo, em R\$/mm² × km; esse valor pode ser obtido a partir 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 R\$ 59,20/m, o valor de $G = \text{R\$ } 493,32/\text{mm}^2 \times \text{km}$, ou seja, $G = \frac{59,20}{120} \times 1.000$. 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 R\$/kWh.

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 pela planilha fornecida na [Tabela 15.15](#).

Tabela 15.14 Temperatura de trabalho dos condutores isolados em função do carregamento

Temperatura de trabalho em função do carregamento			
Relação I_c/I_{cabo}	Temperatura °C	Relação I_c/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

Tabela 15.15 Avaliação do potencial de economia de energia elétrica nos condutores

Perdas nos condutores elétricos											 estudos e projetos elétricos	
Circuito	Seção	Compr. circuito	Resist	Corrente		Taxa de Carga	Tempo		Perdas mensais	Proteção		
	mm ²			m	mOhm/m		Nominal	Carga		H/Dia	Dias/Sem.	kWh
				A	A	%				A	A	

Exemplo de aplicação (15.3)

Determinar a seção econômica de um condutor, isolamento EPR, cuja carga é de 210 A e funciona durante 13 horas ao dia, durante 22 dias ao mês. A tarifa média de energia elétrica da instalação é de R\$ 320,00/MWh. O tempo de operação considerado para o cabo é de 10 anos.

$$G = \text{R\$ } 493,32/\text{mm}^2 \times \text{km (determinado anteriormente)}$$

$$S_c = \frac{210}{2,66} \times \frac{0,69}{\sqrt{13 \times 22 \times 12}} \times \sqrt{\frac{320 / 1.000}{493,32}}$$

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

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

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 durante 13 horas ao dia, durante 22 dias ao mês. A indústria é do grupo tarifário convencional. Adotar uma taxa de juro de 16 % ao ano.

a) Condutor de isolamento PVC (70 °C)

Seção

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

Carregamento

$$R_i = \frac{210}{230} = 0,91 \rightarrow T = 65 \text{ °C (Tabela 15.14)}$$

Fator de correção da resistência

$$T = 60 \text{ °C} \rightarrow F_{cr} = 1,777 \text{ (valor interpolado da Tabela 15.13)}$$

Perdas de potência devido à resistência do condutor

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

$$R_u = 0,1502 \text{ } \Omega/\text{km (Tabela 3.22)}$$

$$P_{ca} = \frac{3 \times 0,1502 \text{ } \Omega/\text{km} \times 1,177 \times 0,175 \text{ km} \times 210^2}{1.000}$$

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

Perdas de energia mensal devido à resistência do condutor

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

Custo anual de energia (tarifa convencional A4)

$$C_{150} = (4 \text{ kW} \times \text{R\$ } 24,51/\text{kW} + 1.144 \text{ kWh/mês} \times 0,22878) \times 12$$

$$C_{150} = \text{R\$ } 4.317,17$$

Os valores das tarifas podem ser obtidos na Tabela 1.11.

b) Condutor de isolação XLPE ou EPR 90 °C

Seção

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

Carregamento

$$R_i = \frac{210}{211} = 0,99 \rightarrow T = 90 \text{ °C (Tabela 14.14)}$$

Fator de correção da resistência

$$T = 90 \text{ °C} \rightarrow F_{cr} = 1,275 \text{ (Tabela 15.13)}$$

Perdas de potência devido à resistência do condutor

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

$$R = 0,2352 \text{ } \Omega/\text{km (Tabela 3.22)}$$

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

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

Perdas de energia devido à resistência do condutor

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

Custo anual de energia (tarifa convencional A4)

$$C_{95} = (6,9 \text{ kW} \times \text{R\$ } 24,51/\text{kW} + 1.973 \text{ kWh/mês} \times 0,22878) \times 12$$

$$C_{95} = R\$ 7.446,02$$

c) Diferença anual na fatura

$$\Delta C = 7.446,02 - 4.317,17 = R\$ 3.128,85$$

d) Diferença de investimentos

Preço do cabo instalado de 150 mm²/PVC: R\$ 49,72/m

Preço do cabo instalado de 95 mm²/XLPE: R\$ 31,72/m

$$P_c = (49,72 - 31,72) \times 175 \text{ m} \times 3 = R\$ 9.450,00$$

e) Tempo de retorno do investimento

De acordo com a planilha de cálculo da Tabela 15.16, o tempo de retorno do investimento é inferior a quatro anos.

O gráfico da Figura 15.6, originário da Tabela 15.16, permite também determinar o tempo de retorno do investimento, que corresponde a pouco menos que quatro anos.

Tabela 15.16 Cálculo do valor líquido presente

Cálculo do Valor Líquido Presente - VPL (Mensal)							
Diferença de investimento						R\$	- 9.450,00
Taxa de juros anuais (2%)							1,020
Ano	Condutor XLPE		Condutor PVC		Receitas R\$	Fluxos Atualizados R\$	Fluxos Acumulados R\$
	Cabo XLPE	O&M	Cabo PVC	O&M			
1	7.446,02	0,00	4.317,17	0,00	3.128,85	3.067,50	3.067,50

2	7.446,02	0,00	4.317,17	0,00	3.128,85	3.007,35	6.074,85
3	7.446,02	0,00	4.317,17	0,00	3.128,85	2.948,39	9.023,24
4	7.446,02	0,00	4.317,17	0,00	3.128,85	2.890,57	11.913,81
5	7.446,02	0,00	4.317,17	0,00	3.128,85	2.833,90	14.747,71
6	7.446,02	0,00	4.317,17	0,00	3.128,85	2.778,33	17.526,04
7	7.446,02	0,00	4.317,17	0,00	3.128,85	2.723,85	20.249,89
8	7.446,02	0,00	4.317,17	0,00	3.128,85	2.670,44	22.920,33
9	7.446,02	0,00	4.317,17	0,00	3.128,85	2.618,08	25.538,41
10	7.446,02	0,00	4.317,17	0,00	3.128,85	2.566,75	28.105,16

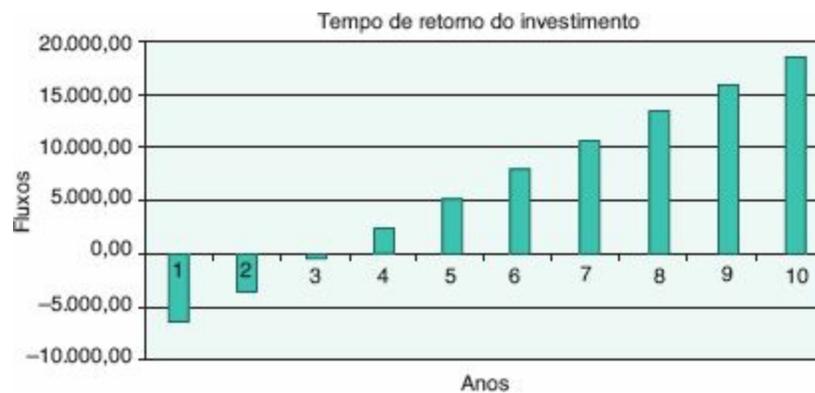


Figura 15.6 Tempo de retorno do investimento.

15.4.3 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.

15.4.4 Motores elétricos

Os motores elétricos em uma 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.

De forma geral, na indústria, mesmo aquelas instaladas em períodos recentes em que o tema eficiência energética tem tomado corpo entre os gerentes de produção e financeiros, existe um considerável desperdício de energia, notadamente na operação dos motores elétricos devido a algumas causas que podem ser relacionadas:

- Substituição de motores defeituosos por motores de potência superior pelo simples fato de não haver disponibilidade de um motor de igual potência e características no setor de manutenção da indústria.
- Instalação pelo próprio fabricante da máquina a ser acionada de um motor de capacidade desnecessariamente superior às necessidades da mesma.
- Fatores de correção adotados por projetistas e profissionais de manutenção, que elevam a capacidade nominal dos motores em busca de uma maior segurança e vida útil.
- Falta de conhecimento real da carga que será acionada e de suas demais características operacionais.
- Falta de conhecimento técnico para aplicação dos fatores de serviço de alguns motores.
- Previsão quase sempre inatingível de aumento de produção da máquina.
- Suposição de que motores subdimensionados têm menores desgastes

mecânicos e maior vida útil.

- Redução por tempo muito longo do ritmo de produção de determinadas máquinas.

Em geral, para motores de potência nominal não superior a 100 cv são válidas as seguintes informações constatadas pelos catálogos dos fabricantes:

- Quanto maior sua potência nominal, mais elevado é seu rendimento máximo.
- Os motores, em geral, operam com seu rendimento máximo quando carregados a 75 % de 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 65 % de sua potência nominal apresentam um rendimento próximo de 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:

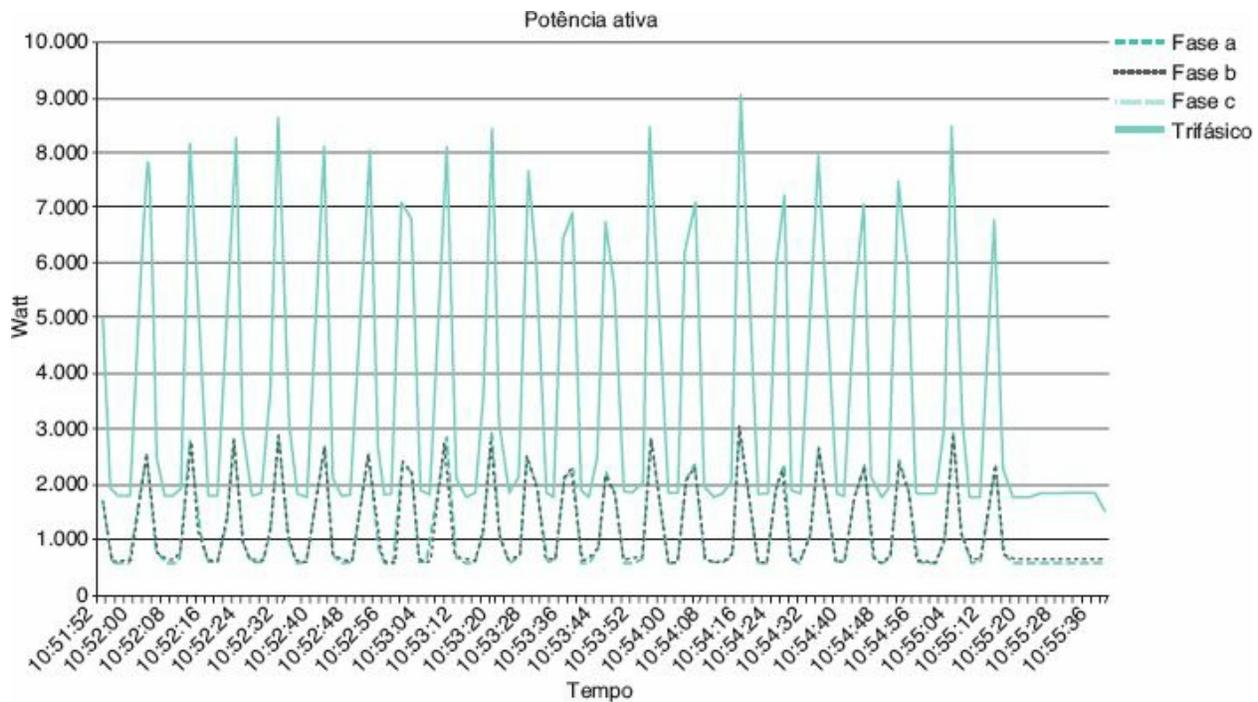


Figura 15.7 Curva de potência ativa de uma prensa.

- 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, como ventiladores, compressores etc.
- Instalar inversores nos motores utilizados nas estações de tratamento de esgoto ou em emissores submarinos e cargas similares, pois durante o período da madrugada há uma acentuada redução na produção de esgoto e, conseqüentemente, menor solicitação dos motores.

Durante a avaliação dos motores elétricos de uma instalação industrial, é comum encontrar máquinas acionadas por motores cuja forma de operação é muito complexa para determinar se há potencial de economia a considerar. Como exemplo, podem ser indicadas as prensas hidráulicas utilizadas na

fabricação de peças metálicas em alto relevo, em que o comportamento da demanda solicitada da rede é muito irregular e o tempo de operação dessas máquinas também é incerto. As paradas da máquina são frequentes e sua duração é variável, porém necessária para a substituição do molde e ajustes decorrentes. A [Figura 15.7](#) mostra uma medição feita na prensa da [Figura 15.8](#), na qual se observa o gráfico do tipo dente de serra.

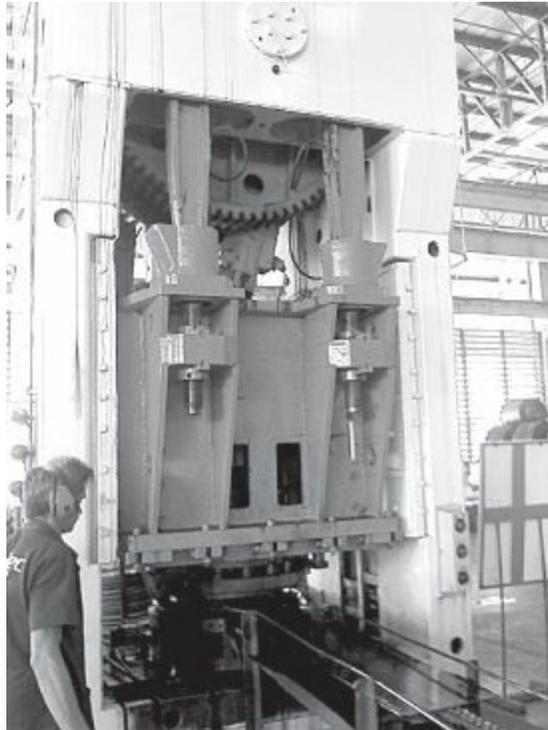


Figura 15.8 Prensa.

Já a avaliação de potencial de economia em máquinas cujos motores operam em regime S1, dada a regularidade de seu funcionamento, é muito facilitada e se obtêm resultados muito precisos.

A [Figura 15.9](#) mostra a característica de desempenho de um motor elétrico de indução 175 cv/IV polos do tipo standard. Já a [Figura 15.10](#) mostra a curva de desempenho de um motor de 60 cv/IV polos do tipo alto rendimento.

Para se determinar o potencial de economia de energia elétrica que pode

ser obtido na operação dos motores elétricos, seguir a orientação:

a) Avaliação de 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.

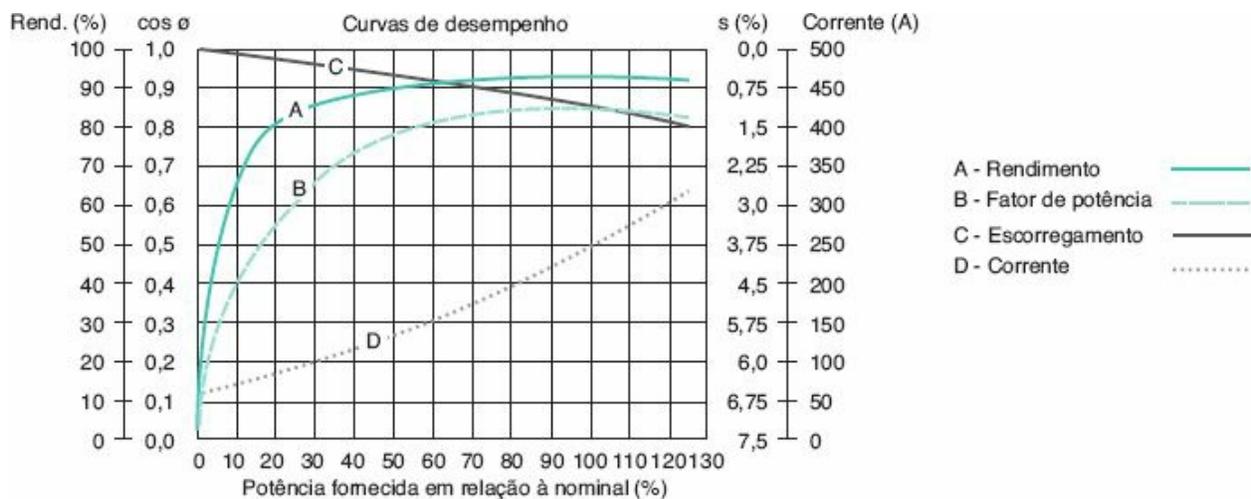


Figura 15.9 Curva de desempenho do motor standard de 175 cv/IV polos.

c) Medidas de combate ao desperdício

- Seleção adequada do motor quanto a:
 - 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 a Seção 15.4.2.

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.
- Torque de partida.
- Capacidade da chave de partida.
- Capacidade do condutor de alimentação.
- Redimensionamento da proteção.

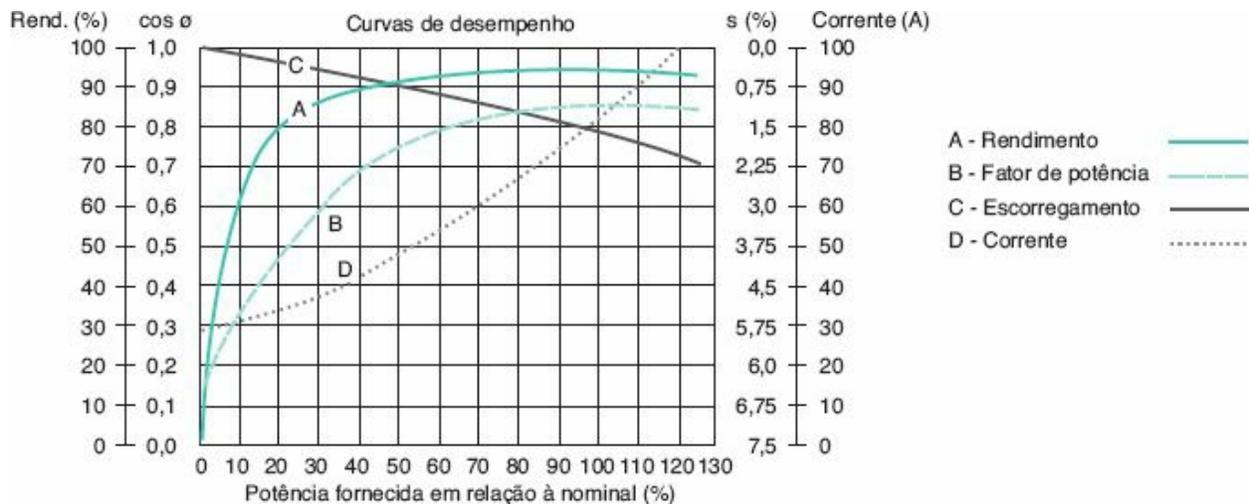


Figura 15.10 Curva de desempenho do motor alto rendimento de 60 cv/IV polos.

e) Potencial de economia dos motores

Para se determinar o potencial de economia dos motores elétricos de determinada instalação, devem se implementar as seguintes ações:

- 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 3 diferentes situações operacionais do motor, ou seja:

15.4.4.1 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

$$\Delta I\% = \frac{I_{op1}}{I_{nm1}} \times 100\% \quad (15.4)$$

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

I_{nm1} - corrente nominal do motor standard, em A.

Com esse valor pode-se identificar preliminarmente a taxa de carga do motor.

- Cálculo da potência ativa do motor standard

A partir da corrente medida do motor, determina-se o fator de potência e o rendimento a partir dos gráficos de desempenho do motor, conforme podem ser observados na [Figura 15.9](#).

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

V_{op} = tensão de operação, em V;

ψ = ângulo de fator de potência.

- Cálculo da energia mensal consumida pelo motor
 - Fora do horário de ponta de carga

$$E_{1fp} = P_{a1} \times N_{h/d} \times N_{d/m} \text{ (kWh)} \quad (15.6)$$

$N_{h/d}$ - número de horas de funcionamento por dia fora de ponta;

$N_{d/m}$ - número de dias por mês de funcionamento do motor.

- No horário de ponta de carga

$$E_{1p} = P_{a1} \times 66 \text{ (kWh)} \quad (15.7)$$

Como alternativa, pode-se determinar o custo médio mensal, com base nos valores de tarifa sazonais, como mostra a planilha de cálculo da [Tabela 15.18](#).

- Cálculo da potência útil do motor

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

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

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

- Verificação das condições de partida do novo motor

A seleção do novo motor implica considerar o conjugado de partida.

- 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 a partir do gráfico de desempenho do motor, conforme exemplo da [Figura 15.10](#));

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 por mês
 - Fora do horário de ponta de carga

$$E_{2fp} = P_{a2} \times N_{hfp/d} \times N_{d/m} \text{ (kWh)} \quad (15.13)$$

- No horário de ponta de carga

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

Como alternativa, pode-se determinar o custo médio mensal, com base nos valores das tarifas horossazonais, como mostra a planilha de cálculo da [Tabela 15.21](#).

- 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 15.18](#);

CE_2 - custo médio da energia do motor de alto rendimento, dado na planilha

de cálculo da [Tabela 15.19](#).

- Determinação do tempo de retorno do investimento.

Aplicar a planilha de cálculo que determina o valor líquido presente.

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 15.17](#).

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

Tabela 15.17 Dados a serem levantados dos motores elétricos (exemplo numérico)

Levantamento de dados de motores elétricos						
Cliente:						
Unidade:						
Identificação do motor:						
Item	Dados	Unid	Motor			
			1	2	3	4
1	Quantidade	ud	1	1	5	1
2	Modelo	-	ND	ND	ND	ND
3	Fabricante		WEG	WEG	WEG	WEG
4	Potência nominal	cv	30	5	2,5	10
5	Tensão nominal	V	440	440	440	440

6	Fator de serviço	-	1,15	ND	ND	ND
7	Frequência nominal	Hz	60	60	60	60
8	Rotação nominal	rpm	1765	ND	1750	ND
9	Conjugado nominal	Nm	ND	ND	ND	ND
10	Conjugado de partida	x Cn	ND	ND	ND	ND
11	Conjugado máximo	x Cn	ND	ND	ND	ND
12	Condições de carga	%	ND	ND	ND	ND
13	Fator de potência	-	0,83	ND	ND	ND
14	Rendimento	-	90,5	ND	ND	ND
15	Corrente nominal	A	18,5	ND	ND	ND
16	Corrente de partida a 100 % da tensão	A	ND	ND	ND	ND
17	Corrente de partida a 60 % e 80 % da tensão	A	ND	ND	ND	ND
18	Corrente com rotor bloqueado	A	ND	ND	ND	ND
19	Potência de partida	kVA	ND	ND	ND	ND

20	Tipo de ligação do estator	-	ESTRELA	ESTRELA	ESTRELA	ESTRELA	I
21	Número de terminais do estator	Ud	3	3	3	3	
22	Número de partidas permissíveis	Ud	NI	NI	NI	NI	
23	Tempo máximo permitido p/cada partida	s	NI	NI	NI	NI	
24	Classe de isolamento	-	N	N	N	N	
25	Elevação de temperatura c/FS 1,0	OC	ND	ND	ND	ND	
26	Elevação de temperatura c/FS 1,15	OC	ND	ND	ND	ND	
27	Normas gerais aplicadas	-	NBR7094	NBR7094	NBR7094	NBR7094	M
28	Tipo de proteção/refrigeração	-	IP 55	IP 56	IP 57	IP 58	
29	Tipo de construção	-	ND	ND	ND	ND	
30	Tipo de mancais	-	ROLAMENTO	ROLAMENTO	ROLAMENTO	ROLAMENTO	RO

31	Lubrificação dos mancais	-	GRAXA	GRAXA	GRAXA	GRAXA	
32	Momento de inércia	kgf-m	ND	ND	ND	ND	
33	Sentido de rotação	-	HORÁRIO	HORÁRIO	HORÁRIO	HORÁRIO	A
34	Peso aproximado	kg	160				
35	Número de horas de operações por dia	-	24	24	24	24	
	Tempo de uso do motor	-					
	<i>Menos de 1 ano</i>	-					X
36	<i>Mais de 1 ano e inferior a 5 anos</i>	-	X	X	X		
	<i>Igual ou superior a 5 anos</i>	-					
	Estado de conservação do motor	-					
37	<i>Original</i>	-					
	<i>Enrolado 1 vez</i>	-	X				
	<i>Enrolado mais de 1</i>						

	<i>vez</i>	-	X	X	X
	Estado de conservação do QCG	-			
	<i>Excelente</i>	-			
38	<i>Bom</i>	-	X	X	X
	<i>Regular</i>	-	X		
	<i>Ruim</i>	-			
	Tipo de chave de partida	-			
	<i>Contactora/relé térmico</i>	-	X		
39	<i>Disjuntor</i>	-	X	X	X
	<i>Estrela-triângulo</i>	-			
	<i>Compensadora</i>	-			
	<i>Softstarter</i>	-			
	Proteção contra curto-circuito	-			
40	<i>Fusível NH/Dz</i>	-	X		
	<i>Disjuntor</i>	-	X	X	X

	<i>termomagnético</i>					
	Proteção de sobrecarga	-				
41	<i>Relé térmico</i>	-	X			
	<i>Disjuntor termomagnético</i>	-		X	X	X
	Valores das correntes de ajuste da proteção	-				
42	<i>Sobrecarga</i>	-	32	5,8	ND	ND
	<i>Curto-circuito</i>	-	ND	ND	ND	ND

Notas: X - OPÇÃO APLICÁVEL ; NI - NÃO INFORMADO ; ND - NÃO DISPONÍVEL ; NC - NÃO CONFORME

Exemplo de aplicação (15.5)

Calcular o potencial de economia encontrado na operação de um motor elétrico recém-instalado, do tipo standard, com potência nominal de 175 cv/380 V/IV polos em operação em uma indústria alimentada em 13,80 kV, trabalhando em subcarga. Simular a substituição deste motor por outro de menor potência e alto rendimento, sabendo-se que seu regime de funcionamento é S1. O consumidor é do grupo tarifário horossazonal azul, segmento A4. A indústria trabalha 24 horas, durante 30 dias ao mês. A curva de desempenho pode ser vista na Figura 15.9.

Corrente medida nos terminais do motor: 100 A

Tarifas de energia pagas pela indústria (tarifa azul)

- Demanda fora do horário de ponta: R\$ 7,93/MW
- Demanda no horário de ponta: R\$ 25,05/MW

- Consumo no horário de ponta seco: R\$ 353,01/MWh
- Consumo fora do horário de ponta seco: R\$ 219,47/MWh
- Consumo no horário de ponta úmido: R\$ 353,01/MWh
- Consumo fora do horário de ponta úmido: R\$ 219,47/MWh

Custo motor standard: R\$ 17.200,00

Características de placa do motor standard de 175 cv

- Corrente nominal: 253 A
- Fator de potência nominal: 0,84 (a 100 % da potência nominal)
- Rendimento nominal: 92 (a 100 % da potência nominal)

Taxa mensal de juros: 2 %

Conjugado nominal: 72,3 kgf·m

Momento de inércia do rotor: 2,7 kg·m²

a) Cálculo do fator de potência e rendimento

Para o valor da corrente de carga medida de 100 A, tem-se:

Fator de potência: 0,66 — correspondente a 30 % de carregamento (gráfico do motor visto na Figura 15.9).

Rendimento: 0,85 — correspondente a 30 % de carregamento (gráfico do motor, visto na Figura 15.9).

b) Cálculo da potência ativa do motor standard

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

$$P_{a2} = \sqrt{3} \times 0,38 \times 100 \times 0,66 = 43,4 \text{ kW}$$

c) Energia mensal consumida pelo motor standard

Fora do horário de ponta

$$CE_{1fp} = 43,4 \times 22 + 43,4 \times 4 \times 2 \times 24 = 9.287,0 \text{ kWh} = 9,28 \text{ MWh}$$

O valor (43,4 × 4 × 2 × 24) corresponde à energia mensal consumida aos sábados e domingos.

No horário de ponta

$$CE_{1p} = 43,4 \times (3 \times 22) = 2.864 \text{ kWh} = 2,86 \text{ MWh}$$

d) Cálculo da potência útil do motor

$$P_{u1} = \frac{P_{a1} \times \eta_1}{0,736} = \frac{43,4 \times 0,85}{0,736} = 50,1 \text{ cv}$$

e) Relação entre a potência útil e a potência nominal

$$R = \frac{P_u}{P_n} = \frac{50,1}{175} = 0,28$$

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

f) Seleção do motor de alto rendimento

$$P_{nm} = 1,2 \times P_{u1} = 1,2 \times 50,1 = 60,1 \text{ cv}$$

Potência selecionada: 60 cv

Corrente nominal: 83,3 A

Rendimento: 0,92 (a 100 % da potência nominal)

Fator de potência: 0,86 (a 100 % da potência nominal)

Custo do motor: R\$ 8.136,00,00

g) Relação de subcarga do motor de alto rendimento

$$\Delta C = \frac{50,1}{60} \times 100 = 83 \%$$

h) Potência ativa do motor de alto rendimento

Corrente de operação: 70 A (para $\Delta C = 83 \%$ — gráfico do motor visto na Figura 15.10)

Fator de potência: 0,84 (gráfico do motor visto na Figura 15.10)

Rendimento: 0,93 (gráfico do motor, visto na Figura 15.10)

$$P_{a2} = \sqrt{3} \times 0,38 \times 70 \times 0,84 = 38,7\text{kW}$$

i) Redução da potência ativa

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

$$\Delta P_a = 43,4 - 38,7 = 4,7 \text{ kW}$$

Tabela 15.18 Custo de operação do motor de 175–50 cv

Custo anual de energia - tarifa azul							
Descrição	Tarifa sem ICMS		Período		Demanda	Consumo	
	R\$/kW	R\$/MWh	Horas/mês	Mês/ano	kW	kWh/mês	kWh/ano
Demanda FP	7,930	-	-	12	43,4	-	-
Demanda P	25,050	-	-	12	43,4	-	-
Consumo FPS	-	219,47	-	7	-	9.287	65.009
Consumo PS	-	353,01	-	7	-	2.864	20.048
Consumo FPU	-	219,47	-	5	-	9.287	46.435
Consumo PU	-	353,01	-	5	-	2.864	14.320

Total mensal - R\$/mês

Tarifa média mensal - R\$/MWh

j) Energia mensal consumida

Fora do horário de ponta

$$C_1 = 38,7 \times 22 + 38,7 \times 4 \times 2 \times 24 = 8.281 \text{ kWh} = 8,28 \text{ MWh}$$

No horário de ponta

$$C_1 = 38,7 \times 3 \times 22 = 2.554 \text{ kWh} = 2,5 \text{ MWh}$$

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

Operação com motor de 175 cv

$$CE_1 = \text{R\$ } 10.354,85 \text{ (planilha de cálculo da Tabela 15.18)}$$

Operação com motor de 60 cv

$$CE_1 = \text{R\$ } 9.414,28 \text{ (planilha de cálculo da Tabela 15.19)}$$

l) Redução do custo da fatura mensal

$$\Delta F = 10.354,85 - 9.414,28 = \text{R\$ } 940,57/\text{mês}$$

m) Diferença entre o preço de um motor instalado de 60 cv e do motor retirado de 175 cv

$$\Delta P = 17.200,00 - (8.136,00 + 3.100,00 + 1.200,00) = \text{R\$ } 4.764,00$$

Esta diferença de custo envolve o preço do motor novo mais Quadro de Comando (R\$

8.136,00 + 3.100,00), adicionando-se a mão de obra para desinstalar o motor de 175 cv e instalar o motor de 60 cv (R\$ 1.200,00). Logo, o investimento é de R\$ 12.436,00.

n) Valor presente líquido

Com base nas receitas mensais calculadas no item I e no investimento inicial, pode-se determinar o tempo de retorno do referido investimento, a partir da planilha de cálculo da Tabela 15.20, que é pouco menos de três anos. Já a Figura 15.11 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 60 cv, reduzindo o valor do investimento.

Tabela 15.20 Tempo de retorno do investimento

Cálculo do VPL (Anual)							
Investimento em R\$:						12.436,00	
Taxa de juros anuais (16 %)						1,1600	
Ano	Motor standard		Motor de alto rendimento		Receitas (R\$)	Fluxos atualizados (R\$)	Fluxos acumulados (R\$)
	Custo da energia consumida (R\$)	O&M (R\$)	Custo da energia consumida (R\$)	O&M (R\$)			
1	53.766,85	0,00	47.944,14	0,00	5.822,71	5.019,58	5.019,58
2	53.766,85	0,00	47.944,14	0,00	5.822,71	4.327,22	9.346,80
3	53.766,85	0,00	47.944,14	0,00	5.822,71	3.730,36	13.077,16

4	53.766,85	0,00	47.944,14	0,00	5.822,71	3.215,83	16.292,99
5	53.766,85	0,00	47.944,14	0,00	5.822,71	2.772,27	19.065,26



Figura 15.11 Tempo de retorno do investimento.

15.4.4.2 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\$;

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;

η_s - rendimento do motor standard;

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

15.4.4.3 Avaliação de aquisição de motores standard ou de motores de alto rendimento

Neste caso, está-se avaliando se se deve 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\$.

Exemplo de aplicação (15.6)

Uma indústria deseja adquirir dez 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 no horário fora de ponta de carga: 1.400 kW

Demanda faturada no horário de ponta de carga: 1.200 kW

Consumo de energia no horário fora de ponta de carga: 742.400 kWh

Consumo de energia no horário 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 polos/380 V do tipo standard é de R\$ 12.400,00. Já o custo de aquisição do motor de alto rendimento equivalente é de R\$ 17.720,00.

Determinação da tarifa média da indústria

Tabela 15.21 Tarifa média

Custo anual de energia - tarifa azul							
Tarifa sem ICMS		Período		Demanda		Consumo	
Descrição	R\$/kW	R\$/MWh	Horas/mês	Mês/ano	kW	kWh/mês	kWh/ano
Demanda FP	7,930	-	-	12	1.400	-	-
Demanda P	25,050	-	-	12	1.200	-	-
Consumo FPS	-	219,47	-	7	-	742.400	5.196.800
Consumo PS	-	353,01	-	7	-	76.300	534.100
Consumo FPU	-	219,47	-	5	-	742.400	3.712.000

Consumo PU	-	353,01	-	5	-	76.300	381.500
Total							9.824.400
Total mensal - R\$/mês							
Tarifa média mensal - R\$/MWh							

O custo médio da energia pode ser determinado segundo a Tabela 15.21:

$$T_r = \frac{C_{ar} - C_{ms}}{0,736 \times P_{nm} \times N_{ha} \times C_{kwh} \times \left(\frac{100}{\eta_s} - \frac{100}{\eta_{ar}} \right)} = \frac{17.720 - 12.400}{0,736 \times 100 \times 6.480 \times \frac{282,19}{1.000} \left(\frac{100}{92,5} - \frac{100}{94,5} \right)} = 1,72$$

$T_r = 1,72$ ano (14 meses, aproximadamente)

$\eta_s = 92,5$ (catálogo do fabricante WEG)

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

15.4.5 Consumo de água

15.4.5.1 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 de água desperdiçado no sistema hidráulico e na reservação, aumentando o consumo de energia elétrica. Neste caso, haverá tanto desperdício de água quanto de energia elétrica, onerando, conseqüentemente, os custos operacionais da instalação.

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

Assim, é necessário que os responsáveis pela manutenção monitorem periodicamente toda a 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.
- Inspeccionar rotineiramente as conexões das tubulações de água quente e água fria das máquinas da produção.
- Inspeccionar 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.

15.4.5.2 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 boia não funciona adequadamente. Nos sistemas industriais de maior porte, existem controles por sensores elétricos.

Os vazamentos não visíveis normalmente são de difícil identificação. Esses vazamentos ocorrem, em geral, nos vasos sanitários (pequenos vazamentos) ou nos reservatórios no 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 15.12](#) 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 boia por meio de um fio ou barbante.
- Desligar a bomba de recalque, evitando conduzir água para o

reservatório superior.

- Medir o nível da água no reservatório por meio de uma tira de madeira ou outro material que possa identificar a marca da 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 ou não vazamento no reservatório.
- Caso confirmado, verificar se o vazamento ocorreu por trinca no reservatório ou nos pontos de saída e entrada de tubulação.

b) Realização de testes em aparelhos sanitários

Existem vários testes que podem ser aplicados. Seguir a orientação de um teste bastante simples auxiliado pela [Figura 15.13](#):

- Acionar o botão de descarga, para deixar o nível da água no seu nível normal.
- Por meio de um recipiente, retirar cerca da metade do volume de água do fundo do aparelho sanitário, conforme a [Figura 15.13\(a\)](#).
- Com um marcador de tinta, traçar uma marca no interior do aparelho sanitário, ligeiramente abaixo do nível da água, conforme a [Figura 15.13\(b\)](#).
- Esperar cerca de 30 minutos.
- 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, ou se a própria caixa de descarga está trincada, permitindo o vazamento de água.

15.4.5.3 Quantificação das perdas de água e energia elétrica devidas aos vazamentos

Para que se possa quantificar os desperdícios de água e energia elétrica em uma unidade consumidora sujeita a vazamentos, utilizar as Tabelas 15.22 e 15.23. A Tabela 15.22 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 15.23 fornece o desperdício de água em função dos diferentes níveis de pressão existentes na tubulação para a condição de vazamento no sistema hidráulico.

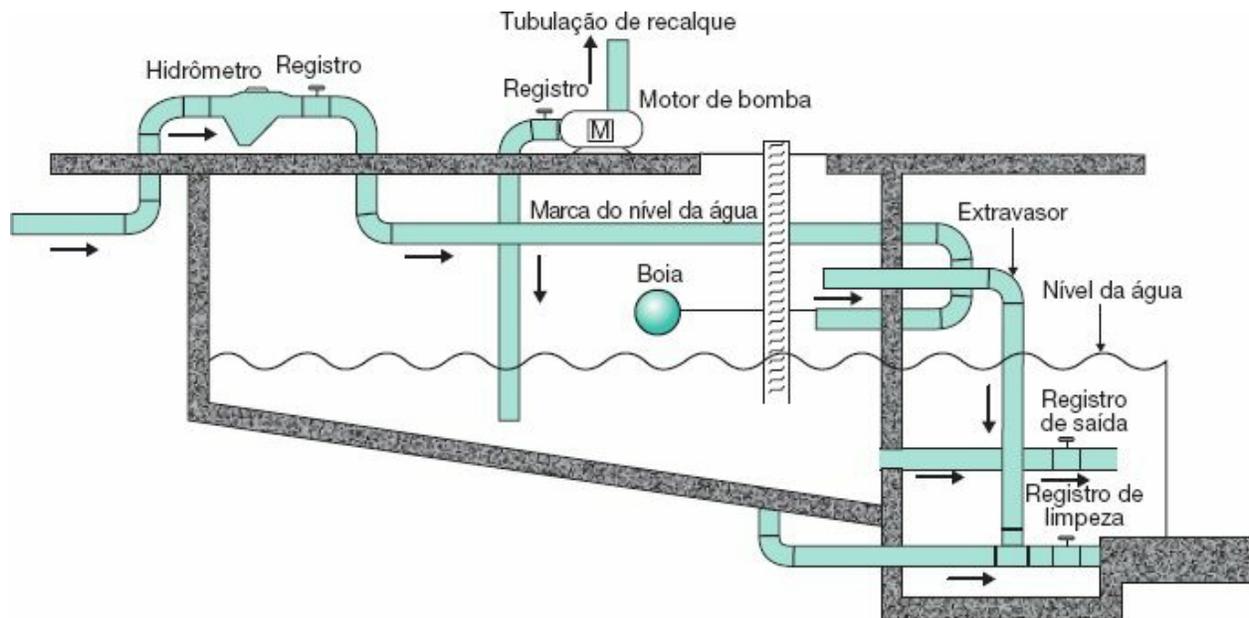


Figura 15.12 Teste de vazamento.

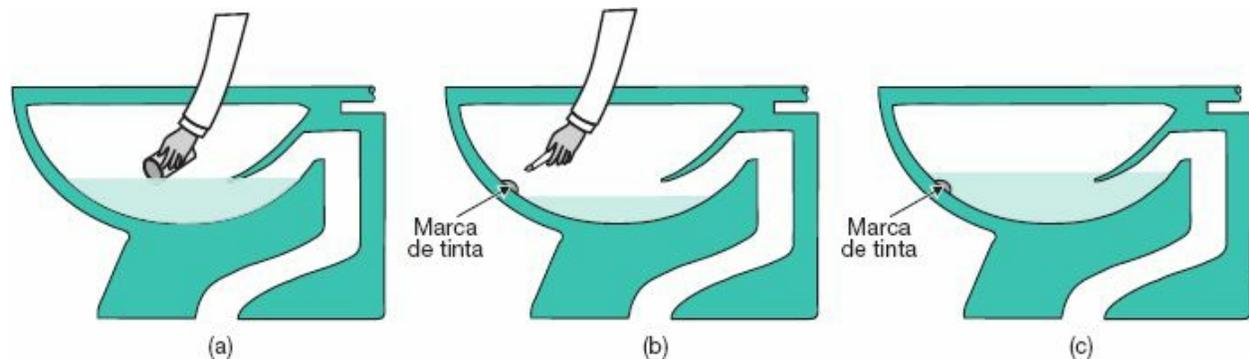


Figura 15.13 Teste de vazamento em aparelhos sanitários.

Tabela 15.22 Desperdício de água por meio de orifício à pressão atmosférica

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 15.23 Desperdício de água por meio de orifício em função da pressão (pressão: 5 kg/cm²)

Diâmetro do orifício	Vazamento em litros		Metros cúbicos por	
	mm	minutos	hora	dia
0,5	0,33	20	0,48	14,4
4,0	14,80	890	21,40	644,0
7,0	39,30	2360	56,80	1700,0

Percentual do volume dos vazamentos acima mencionados com as diversas pressões

1 kg/cm² - 45 %

6 kg/cm² - 110 %

2 kg/cm² - 63 %

7 kg/cm² - 118 %

3 kg/cm² - 77 %

8 kg/cm² - 127 %

4 kg/cm² - 89 %

9 kg/cm² - 134 %

5 kg/cm² - 100 %

10 kg/cm² - 141 %

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 custo da energia elétrica em condições normais (sem vazamento) e nas condições de vazamento no sistema hidráulico, nas seguintes hipóteses:

Em dez pontos do sistema hidráulico, observou-se gotejamento de registros e conexões da tubulação de água com as máquinas.

Foram encontrados cinco 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

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

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

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

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 15.22)

1 aparelho sanitário vazando → 62.040 litros/mês (Tabela 15.22)

$$C_{ada} = N_{tor} \times C_{tor} + N_{aps} \times C_{aps} = 10 \times 1.380 + 5 \times 62.040 = 324.000 \text{ litros/mês}$$

N_{tor} - número de registros gotejando;

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

N_{aps} - número de aparelhos sanitários com vazamento;

C_{aps} - consumo de cada aparelho sanitário devido ao desperdício.

C_{ada} - consumo adicional de água.

Cálculo do consumo adicional de água devido ao desperdício

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

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

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

Cálculo do percentual de desperdício de energia elétrica

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

15.4.5.4 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_h), maior será a vazão, conservando a mesma altura manométrica (H).
- Quanto maior a altura manométrica (H), maior deve ser a potência da bomba (P_h).

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.

15.4.6 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 janelheiro ou sistemas centralizados.

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:

a) Circuito de condensação

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

b) Circuito de água gelada

É constituído pelos equipamentos de circulação de água gelada, 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, como o retorno de ar e admissão de ar do meio exterior.

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

15.4.6.1 Medidas de implementação de curto prazo

a) Aparelho de ar condicionado do 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 evitar o aumento da carga térmica; para isso, 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 obstruída.
- 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 do 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.

15.4.6.2 Medidas de implementação de médio prazo

- Reparar periodicamente 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 for necessário, removê-los para outro ambiente.

15.4.6.3 Medidas de implementação de longo prazo

-	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

15.4.6.4 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 janeleiro. Neste 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 as partes móveis 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.
- Operar somente as torres de refrigeração e as bombas essenciais à operação do sistema.

Manter limpa a torre de refrigeração para minimizar as quedas de pressão de ar e de água.

- 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 no indicador de umidade e água. Isso indica que o sistema deve estar com refrigerante reduzido.
- Verificar se o compressor está funcionando continuamente ou se realiza paradas e partidas muito frequentes, o que indica que há desajuste operacional.
- Isolar os tubos, ligações e válvulas de água quente nos locais condicionados, para minimizar as perdas e a absorção de calor.
- 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.

A [Tabela 15.25](#) ilustra uma sequência de cálculo para determinação do potencial de economia com a utilização de novas unidades de climatização de maior eficiência.

15.4.7 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 da redução da 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.

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 (15.18):

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

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 dada pela [Equação \(15.21\)](#):

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

P_{um} - potência útil do motor na condição de operação na rotação N_2 .

P_{nm} - potência atual do motor.

d) Redução da energia consumida no mês

É dada pela [Equação \(15.22\)](#)

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

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

Tabela 15.25 Planilha de cálculo da energia atual consumida no sistema de climatização do tipo janelheiro

Levantamento e análise dos aparelhos de ar condicionado																									
Instituição:																									
Responsável pelo levantamento:																									
Local de instalação dos aparelhos	Área		Condicionador de ar			Capacidade do aparelho janelado		Corr. nom.	Condições de uso do aparelho				Condições de instalação dos aparelhos de ar condicionado					Medição		Fat. pot.	Dem.	Potência de dem.	Tempo operação		Energia anual consumida
	m²	Tipo	Procel	Quant.	BTU	kW	A		Bom	Reg	Ruim	Prot.	Mold.	Isol. térm.	Caixa	Func.	V	Corr.	H/d				D/m	kWh/ano	
	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										65,4		14,29	11,6				52.052	

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 15.26 (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 R\$ 44.136,00. O custo médio da energia paga pela indústria é de R\$ 312,00/MWh. Os custos de operação e manutenção antes e depois da substituição dos aparelhos são, respectivamente, R\$ 3.119,56/ano e R\$ 1.056,18.

Com a planilha de cálculo da Tabela 15.26 determina-se que a economia anual de energia elétrica por ano será de R\$ 9.359,05.

O tempo de retorno do investimento pode ser conhecido na planilha de cálculo da Tabela 15.27, que é de cinco anos. A Figura 15.14 mostra o mesmo resultado.



Figura 15.14 Tempo de retorno do investimento.

Tabela 15.26 Avaliação da substituição de aparelhos de ar condicionado do tipo janeiro

SISTEMA ATUAL								
Tempo de operação médio diário dos aparelhos (em horas)								
Número de dias por mês de funcionamento dos aparelhos								
Custo médio da energia da unidade consumidora (R\$/MWh)								
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
	BTU							
Quantidade	2	3	-	2	0	7	2	1
Potência do aparelho	1,16	1,35	-	1,70	-	2,10	2,30	2,90

(kW)								
Potência total (kW)	2,32	4,05	-	3,40	-	14,70	4,60	2,90
Energia consumida (kWh/ano)	9.187	16.038	-	13.464	-	58.212	18.216	11.484

Custo da energia gasta por ano em R\$

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
	BTU							
Quantidade	2	-	3	-	2	-	9	1
Potência do aparelho (kW)	0,72	-	1,03	-	1,18	-	1,81	2,18
Potência total (kW)	1,44	-	3,09	-	2,36	-	16,27	2,18
Energia consumida (kWh/ano)	5.702	-	12.248	-	9.346	-	64.437	8.633

Custo da energia gasta por ano em R\$

RESULTADOS OBTIDOS

Redução de potência (kW)	0,88	-	0,96	-	1,04	-	3,03	0,72
Energia conservada (kWh/ano)	3.485	-	3.790	-	4.118	-	11.991	2.851
Economia (%)	38	-	24	-	31	-	16	25

Economia anual de energia em R\$

Tabela 15.27 Tempo de retorno do investimento

Cálculo do VPL (Anual)							
Investimento em R\$:							44.136,00
Taxas de juros anuais (10 %)							1,0800
Ano	AC normal		AC selo PROCEL		Receitas (R\$)	Fluxos atualizados (R\$)	Fluxos acumulados (R\$)
	Custo da energia consumida (R\$)	O&M (R\$)	Custo da energia consumida (R\$)	O&M (R\$)			
1	44.565,21	3.119,56	35.206,14	1.056,18	11.422,45	10.576,34	10.576,34
2	44.565,21	3.119,56	35.206,14	1.056,18	11.422,45	9.792,91	20.369,25
3	44.565,21	3.119,56	35.206,14	1.056,18	11.422,45	9.067,51	29.436,76

4	44.565,21	3.119,56	35.206,14	1.056,18	11.422,45	8.395,84	37.832,60
5	44.565,21	3.119,56	35.206,14	1.056,18	11.422,45	7.773,93	45.606,53

Exemplo de aplicação (15.9)

Uma indústria de moagem de trigo opera um ventilador cuja potência é de 50 cv/IV polos/380 V. O ventilador é acoplado ao motor por 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 R\$ 360,00/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

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

d) Redução da energia consumida no mês

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

Logo, a redução mensal na fatura é de:

$$R_f = \Delta E \times T_{méd} = 2.500 \times \frac{360,00}{1.000} = R\$ 900,00$$

15.4.8 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.

15.4.8.1 Medidas de implementação imediata

- Somente adquirir 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 em que 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, como fogões, fornos etc.
- Usar com moderação os 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 15.28](#).
- No interior das câmaras frigoríficas, devem ser instaladas lâmpadas fluorescentes compactas tubulares de alta eficiência ou lâmpada de LED, com especificação adequada para baixas temperaturas. A iluminância deve ser de 200 lux.
- É conveniente que em uma 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.
- As portas das câmaras frigoríficas devem estar sempre fechadas quando fora de operação.

Tabela 15.28 Características básicas para armazenamento de produtos

Produto	Condições de armazenamento					
	Curto prazo		Longo prazo		Máximo tempo de armazenagem	% 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
Maçãs 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	2	80-88	-1	80-85	4 semanas	86

verde						
Pera 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 de porco cong.	2	70-87	0	70-87	3 dias	60
Peixe fresco	2	80-85	0	80-90	15 dias	70

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

15.4.8.3 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.

15.4.9 Aquecimento de água

15.4.9.1 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.

15.4.9.2 Medidas de implementação de 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 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.

15.4.10 Elevadores e escadas rolantes

15.4.10.1 Medidas de implementação de 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.

15.4.10.2 Medidas de implementação de 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.
- 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, como elevadores, telefone, ar condicionado etc.
- Verificar a conveniência de instalar dispositivo de acionamento automático nas escadas rolantes.

15.4.11 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 mau funcionamento das mesmas.

c) Pressão

- Cada máquina deve receber do sistema a pressão nominal indicada pelo fabricante.
- Devem-se dimensionar tantas redes de distribuição de ar comprimido quantas forem as máquinas com pressões nominais diferentes.

d) Vazamento nos dutos, válvulas e conexões

Devem-se evitar vazamentos nos diversos elementos da rede de ar comprimido, pois a quantidade de ar desperdiçada é proporcional ao nível de pressão da rede.

Os custos com os vazamentos são o principal ponto de desperdício nos sistemas de ar comprimido. Estudos apontam que entre 20 e 70 % do ar comprimido produzido em um compressor são desperdiçados entre este equipamento e os pontos de consumo. Assim, um furo de 1 mm de diâmetro é responsável pela perda de 65 l/min de ar comprimido, que pode custar anualmente à indústria cerca de R\$ 1.000,00.

Como se sabe, um compressor opera em dois diferentes níveis. Quando a pressão atinge o valor limite superior, o compressor deve ser automaticamente desligado. Nesse momento, a demanda do sistema vai esvaziando a rede de distribuição. Quando a pressão atingir o limite inferior, o compressor deve ser ligado. Esse controle, na sua forma mais simples, é realizado por meio de dois pressostatos, o de máxima pressão e o de mínima pressão. A diferença entre esses dois valores é cerca de 0,3 a 0,5 bar.

Para determinar a vazão de um vazamento em uma tubulação de ar comprimido, pode-se proceder da seguinte forma:

- Desligar todo o processo produtivo que necessite ar comprimido.

- Ligar o compressor e medir o tempo que o mesmo opera com a
- pressão sempre positiva, isto é, carregando a rede até atingir a pressão de trabalho, quando automaticamente é desligado.
 - Medir o tempo que o compressor opera com a pressão com variação negativa, isto é, a rede sendo descarregada. No ponto de pressão mínima, o compressor volta a operar normalmente.

A vazão do vazamento pode ser calculada pela [Equação \(15.23\)](#):

$$V_v = \Delta T_{car} \times \frac{V_{ar}}{T_{total}} \quad (15.23)$$

ΔT_{car} = tempo de carga do compressor, em min;

T_{total} = tempo total do ensaio, em min;

V_{ar} = volume do ar comprimido fornecido pelo compressor, em m³/s.

Esse processo deve ser repetido por várias vezes para se obter um valor médio de vazão o mais verdadeiro possível.

O primeiro sinal de vazamento pode ser percebido por meio de um ruído característico. Uma forma segura de detectar a ocorrência de vazamento, mesmo em ambientes com elevado nível de barulho, é com o uso de detectores de vazamento por ultrassom, já que o ar comprimido que vaza emite ruído na faixa de ultrassom.

Normalmente, os vazamentos ocorrem nas mangueiras de ligação com as máquinas, conexões rosqueadas das tubulações, purgadores etc.

Os compressores quando operam a uma pressão muito acima do necessário estão desperdiçando energia. A relação econômica de operação dos compressores indica que a razão entre o tempo de operação em vazio e o tempo total de operação deve ser igual ou inferior a 15 %. Taxas de operação superiores aumentam o valor do consumo de energia elétrica, pois se o tempo de descarga da rede é muito grande comparado com o tempo de carga, o compressor deve estar operando o sistema com pressões elevadas para

garantir um longo período sem recarga.

Exemplo de aplicação (15.10)

Uma instalação industrial possui um sistema de ar comprimido constituído por seis unidades com capacidade unitária de produzir 360 l/min. Há suspeita que exista vazamento em qualquer ponto da rede, que, na sua maioria, é subterrânea. Foram realizados os apertos nas válvulas e conexões visíveis. Aproveitando uma parada da indústria, foram realizados testes de perda de vazão. O tempo de carga do sistema foi de oito minutos. O tempo de descarga do sistema foi de 20 minutos. Determinar o volume de ar desperdiçado.

$$V_v = \Delta T_{\text{car}} \times \frac{V_{\text{ar}}}{T_{\text{total}}} = 8 \times \frac{360}{8 + 20} = 102,8 \text{ l/min}$$

Esse ensaio deve ser repetido por várias vezes. O valor médio das vazões representa o valor considerado da vazão de perda de ar comprimido.

15.4.12 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 15.15](#).

15.4.13 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, desligando o transformador de força após cessadas as atividades produtivas.

As principais ações que devem ser implementadas em um 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 horário 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 de 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.



Figura 15.15 Curva de elevação das perdas elétricas em função do desequilíbrio de tensão.

Exemplo de aplicação (15.11)

Uma instalação industrial consome por mês 990.000 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

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

c) Perdas do sistema sob tensão desequilibrada (veja Figura 15.15)

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

d) Custo das perdas considerando uma tarifa média mensal de R\$ 360,00/MWh, tem-se:

$$C_p = 1.188 \times \frac{360,00}{1.000} = \text{R\$ } 427,68/\text{mês}$$

Exemplo de aplicação (15.12)

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 dez horas por dia, somente 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

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

Tempo anual em horas de desligamento.

Economia de energia durante o ano

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

Para uma tarifa média de R\$ 360,00/MWh, o valor da economia anual é de:

$$E_{\text{eco}} = \frac{10.200 \times 360}{1.000} = \text{R\$ } 3.672,00$$

15.4.14 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 sua ausência implica um 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:

15.4.14.1 Recomendações gerais

- Verificar a instalação elétrica periodicamente para localizar defeitos monopulares (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.

15.4.14.2 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.
- Devem-se iniciar as tarefas de limpeza nos andares superiores das edificações de vários pavimentos, mantendo-se a iluminação dos ambientes dos demais pavimentos desligada.

15.4.14.3 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 em uma mesma tomada.
- Inspeccionar 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.

15.4.14.4 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.

15.4.14.5 Motivos de fugas de corrente

- Condutores elétricos com isolamento 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.

15.4.15 Administração do consumo de energia elétrica

A administração do consumo de energia elétrica em uma 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 esta 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. Este assunto pode ser visto na Seção 15.4.2.
- 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 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 melhora, a quantidade de energia agregada aos refugos é reduzida.

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 e a ele agregada, e diminui 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 a necessária 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.

15.4.16 Controle de demanda

Como já foi estudada, 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 horário 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 \(15.24\)](#):

$$R_d = \frac{\sum [(P_{nm} \times 0,736 \times F_u \times T_d) + P_c \times T_d]}{15} \quad (\text{kW}) \quad (15.24)$$

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 (15.13)

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 indústria opera 24 horas com elevado fator de carga, próximo a 95 %, e a demanda máxima da carga é de 880 kW. Se for possível desligar os referidos motores durante os tempos a seguir programados, em intervalos de 15 minutos, durante um dia de serviço, ao longo de um mês, é possível obter uma redução de demanda da instalação:

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:

$$R_d = \frac{\frac{100 \times 0,736 \times 0,87}{0,92} \times 5 + \frac{150 \times 0,736 \times 0,87}{0,95} \times 4 + \frac{200 \times 0,736 \times 0,87}{0,95} \times 3 + \frac{200 \times 0,736 \times 0,87}{0,95} \times 5}{15}$$
$$R_d = \frac{348,0 + 404,4 + 404,4 + 674,0}{15} = 122 \text{ kW}$$

Os fatores de utilização e o rendimento dos motores podem ser obtidos, respectivamente, nas Tabelas 1.3 e 6.4. Logo, a nova demanda máxima será de $880 - 122 = 758 \text{ kW}$, que corresponde a uma redução de 13,8 % 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 pode ser elevado. Essa solução somente encontra praticidade em cargas com inércia térmica, como câmaras frigoríficas, aquecedores e similares.

15.4.17 Geração no horário de ponta

A geração no horário 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](#).

15.4.18 Cogeração

Este assunto será tratado convenientemente no [Capítulo 16](#), já que envolve a implementação de uma unidade de geração.