

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

**Implementação de motores de alto rendimento em uma indústria de
alimentos: Estudo de Caso**

MÁRIO CESAR DO ESPÍRITO SANTO RAMOS

**São Paulo
2005**

MÁRIO CESAR DO ESPÍRITO SANTO RAMOS

Implementação de motores de alto rendimento em uma indústria de alimentos: Estudo de Caso

Dissertação apresentada ao Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Energia

Área de Concentração: Energia
Orientador: Prof. Dr. Hédio Tatizawa

**São Paulo
2005**

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL
DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU
ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE
CITADA A FONTE.**

Ficha Catalográfica

Ramos, Mário Cesar do Espírito Santo
Implementação de motores de alto rendimento em
uma indústria de alimentos: Estudo de caso /
Mário Cesar do Espírito Santo Ramos; Orientador: Prof.
Dr. Hédio Tatizawa. – São Paulo, 2005.

91p

Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de
Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da
Universidade de São Paulo.

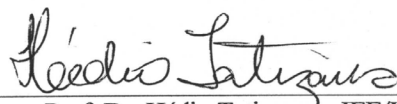
1. Motor de alto rendimento. 2. Conservação de energia. 3.
Programa de eficiência energética. 4. Redimensionamento
motriz. 5. Software de simulação BD Motor.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA INTERUNIDADES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP – FEA – IEE - IF

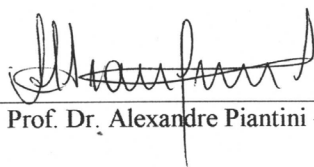
MARIO CESAR DO ESPIRITO SANTO RAMOS

*“Implementação de motores de alto rendimento em uma indústria
de alimentos: estudo de caso”*

Dissertação defendida e aprovada em 02/09/2005 pela Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Hélio Tatizawa – IEE/USP
Orientador e Presidente da Comissão Julgadora



Prof. Dr. Alexandre Piantini – IEE/USP



Prof. Dr. Pedro Pereira de Paula - UNICSUL

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Mário e Vilma.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos Professores Hédio Tatizawa, Alexandre Piantini e Arnaldo Kanashiro, pela amizade, atenção e orientação.

A todos os Professores e Funcionários do IEE/USP.

Aos Professores Fernando A. Almeida Prado Jr. e Ana Lúcia Rodrigues da Silva pelas sugestões e orientações.

Ao Professor Pedro Pereira de Paula, pelas valiosas contribuições.

RESUMO

Este trabalho demonstra a importância da conservação de energia elétrica na indústria alimentícia, através da substituição de motores elétricos antigos por motores de alto rendimento, incluindo redimensionamento motoriz.

Devido às dificuldades encontradas pelo setor elétrico brasileiro, no que diz respeito à expansão da geração para o aumento da oferta de energia elétrica, são os programas de conservação, um dos caminhos para se evitar novos racionamentos.

Esses programas, que podem ser financiados por concessionárias, despertam o interesse pela implementação de projetos de eficiência energética.

A metodologia adotada para a substituição dos motores, incluiu um estudo preliminar, através de medidas das grandezas elétricas. Em seguida, utilizando um software de simulação específico, verificou-se as condições de operação dos mesmos e a provável economia que seria obtida pela utilização de motores de alto rendimento, com potência adequada aos acionamentos.

Após as substituições, novas medições quantificaram a economia real, permitindo uma comparação com os valores inicialmente previstos.

ABSTRACT

The present work demonstrates the valuableness of the electric energy conservation in the provision industry, through the replacement of older electric motors by high efficiency motors, including motive new dimensioning.

Due to the difficulties faced by the Brazilian electric sector, on regarding the production expansion in order to increase the electric energy demand, the conservation programs are one of the ways to prevent new rationing.

These programs, that can be financed by the utilities, arouse the interest for the implement of energetical efficiency projects. The methodology adopted for the motors replacement includes a preliminary study by the measurement of electrical values.

Afterwards, applying a specific simulation software, it could be verified the operating conditions of these motors and the probable saving that could be gained by making use of the high efficiency motors in association with the working power appropriated to the motion settings. Done the replacements, new measurements quantified the actual saving, allowing a comparison between the initially expected values.

OBJETIVO

Demonstrar quantitativamente a importância da conservação de energia elétrica em uma indústria de alimentos, através da substituição de motores elétricos antigos por motores elétricos de alto rendimento, incluindo redimensionamento motoriz.

MOTIVAÇÃO

Em função das dificuldades encontradas pelo setor elétrico brasileiro, no tocante à expansão da geração para o aumento da oferta de energia elétrica, são os programas de conservação de energia, um dos caminhos para se evitar novos racionamentos.

O aumento da participação do custo da energia nos produtos finais industrializados e os incentivos oferecidos pelas concessionárias no financiamento desses programas, despertam o interesse pela implementação de projetos de Eficiência Energética.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Consumo final de energia por fontes no Brasil	01
Figura 1.2. Formas de produção de energia elétrica no mundo	02
Figura 1.3. Emissões atmosféricas de uma central termelétrica de 1 GW	03
Figura 1.4. Crescimento da produção de energia elétrica no Brasil	04
Figura 2.1. Investimentos em Eficiência Energética – Principais Concessionárias	15
Figura 2.2. Investimentos em Eficiência Energética – TOTAL	15
Figura 3.1. Participantes do desenvolvimento do motor elétrico	16
Figura 3.2. Evolução dos motores elétricos	17
Figura 3.3. Classificação dos motores elétricos	18
Figura 3.4. Principais perdas em um motor elétrico de indução	22
Figura 3.5. Variações típicas na eficiência e no fator de potência dos motores de indução	27
Figura 3.6. Principais melhorias em um motor de alto rendimento	28
Figura 3.7. Motores de indução trifásicos – Vendas por linha de produtos	29
Figura 3.8. Motores enviados para reciclagem através do plano de troca	29
Figura 3.9. Quantidade de motores de alto rendimento vendidos no Brasil	30
Figura 3.10. Corrente e conjugado de partida em relação à rotação do motor	31
Figura 3.11. Curvas de conjugado em função da rotação	32
Figura 3.12. Corrente e conjugado de partida em relação a rotação do motor	33
Figura 3.13. Determinação dos valores de corrente e conjugado de partida	34
Figura 3.14. Corrente e conjugado de partida em relação a rotação do motor	35
Figura 3.15. Esquema básico de um conversor de frequência	36

Figura 3.16. Conjugado de partida em relação a rotação do motor	37
Figura 3.17. Percentual de redução de potência em função da temperatura Ambiente	38
Figura 3.18. Classes de temperatura	39
Figura 3.19. Desequilíbrio de corrente em função do desequilíbrio de tensão	44
Figura 3.20. Fator de redução de conjugado em função do fator de Harmônicas de tensão	48
Figura 4.1. Equipamentos de medição utilizados	51
Figura 4.2. Programa de simulação BD Motor	52
Figura 4.3. Curva do motor e carga acionada	55
Figura 5.1. Motores Alto Rendimento (esquerda) e Padrão	61
Figura 5.2. Motor 100 cv tipo padrão	62
Figura 5.3. Motor 100 cv tipo alto rendimento	62
Figura 5.4. Medição Fluke - Motor 100 cv tipo padrão	63
Figura 5.5. Dimensionamento motor 100 cv tipo padrão	63
Figura 5.6. Dimensionamento motor 100 cv tipo alto rendimento	64
Figura 5.7. Medição Fluke - Motor 100 cv tipo alto rendimento	64
Figura 5.8. Medição Fluke - Motor 200 cv tipo padrão	66
Figura 5.9. Dimensionamento motor 200 cv tipo padrão	66
Figura 5.10. Dimensionamento motor 200 cv tipo alto rendimento	67
Figura 5.11. Medição Fluke - Motor 200 cv tipo alto rendimento	67
Figura 5.12. Dimensionamento motor 100 cv tipo alto rendimento	68
Figura 5.13. Medição Fluke - Motor 100 cv tipo alto rendimento	68
Figura 5.14. Motor 200 cv tipo padrão	69
Figura 5.15. Motor 75 cv tipo alto rendimento	70

Figura 5.16. Medição Fluke - Motor 75 cv tipo alto rendimento	71
Figura 5.17. Motor Alto Rendimento 75 cv	71
Figura 5.18. Comparação entre os tempos de retorno do investimento para diferentes potências nominais	72
Figura 6.1. Curva de carga diária do sistema elétrico	76
Figura 6.2. Comportamento da oferta/demanda de energia durante o ano	77
Figura 6.3. Número de horas utilizadas na determinação da tarifa média de energia elétrica	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Regras para investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética	07
Tabela 3.1 – Classificação das harmônicas	47
Tabela 6.1 – Grupos de consumidores	79
Tabela 6.2 - Resultados do programa de eficiência energética	84
Tabela 6.3 – Resultados do programa de eficiência energética	85

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.

BEN - Balanço Energético Nacional.

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora.

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento.

PEE - Programa de Eficiência Energética.

ROL - Receita Operacional Líquida.

LISTA DE ABREVIATURAS

B_M = indução máxima do núcleo [Wb/m²].

C = conjugado [N.m].

C_{carga} = conjugado exigido pela carga [N.m].

C_M = conjugado máximo do motor [N.m].

C_M' = conjugado máximo do motor (estrela – triângulo) [N.m].

C_{ma} = conjugado médio acelerador [N.m].

C_n = conjugado nominal [N.m].

C_p = conjugado de partida [N.m].

C_p' = conjugado de partida (estrela – triângulo) [N.m].

C_{carga} = conjugado exigido pela carga [N.m].

C_r = conjugado exigido pela carga [N.m].

C_{rf} = conjugado resistente em funcionamento [N.m].

e = espessura da chapa do material magnético que compõe o núcleo [mm].

EA = economia anual de energia elétrica [R\$]

f = frequência da tensão de alimentação [Hz].

f_1 = frequência da fundamental [Hz].

FC_j = fluxo de caixa genérico [R\$].

f_h = frequência harmônica de ordem h [Hz].

FRC = fator de redução de conjugado.

GDT = grau de desequilíbrio de tensão [%].

h = ordem harmônica.

HVF = fator de harmônicas de tensão.

i = taxa anual de juros [%].

I = corrente [A].

I_p = corrente de partida [A].

I_n = corrente nominal [A].

j = período genérico [dia] [mês] [ano].

$J_{máquina}$ = momento de inércia da máquina [kgm^2].

J_{rotor} = momento de inércia do rotor [kgm^2].

J_t = momento de inércia total [kgm^2].

K_{FC} = coeficiente que depende das propriedades do material.

K_H = coeficiente que depende das propriedades do material.

η = rendimento nominal do motor alimentado por tensão senoidal sem conteúdo harmônico.

η_{cf} = rendimento do motor alimentado pelo conversor de frequência.

n = rotação [rpm].

n_e = rotação da carga [rpm].

n_s = velocidade síncrona [rpm].

n_p = número de períodos [dia] [mês] [ano].

P = potência mecânica de saída [W].

P_{carga} = potência mecânica [kW].

P_{FC} = perdas Foucault [kW].

P_{FE} = perdas no ferro [kW].

P_H = perdas por Histerese [kW].

PR = preço dos motores [R\$].

s = escorregamento [%].

t_a = tempo de aceleração [s].

T_{Cfps} = tarifa de consumo fora de ponta seca [R\$/MWh].

$T_{C_{fpu}}$ = tarifa de consumo fora de ponta úmida [R\$/MWh].

$T_{C_{média}}$ = tarifa média de consumo [R\$/MWh].

$T_{C_{ps}}$ = tarifa de consumo ponta seca [R\$/MWh].

$T_{C_{pu}}$ = tarifa de consumo ponta úmida [R\$/MWh].

TIR = taxa interna de retorno [%].

TRI = tempo de retorno do investimento [anos].

U_{AB1} = valor da componente simétrica de tensão, de seqüência positiva.

U_{AB2} = valor da componente simétrica de tensão, de seqüência negativa.

U_h = tensão da enésima harmônica [p.u.].

V = volume do núcleo magnético [m³].

VPL = valor presente líquido [R\$].

ω = velocidade angular [rad/s].

100% V = tensão nominal.

% V = percentagem da tensão nominal (derivações).

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO 2 – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	07
2.1. PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	07
2.2. MANUAL DO PEE	08
2.3. ELABORAÇÃO DE PROJETOS INDUSTRIAIS	12
2.4. RESULTADO FINAL DO PEE	13
2.5. INVESTIMENTOS	14
CAPÍTULO 3 – MOTORES ELÉTRICOS	16
3.1. MOTOR ELÉTRICO	16
3.2. CLASSIFICAÇÃO	17
3.3. MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA	18
3.4. MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA	19
3.4.1. MOTORES SÍNCRONOS	19
3.4.2. MOTORES ASSÍNCRONOS	20
3.4.2.1. MOTOR DE INDUÇÃO DE ANÉIS	20
3.4.2.2. MOTOR DE INDUÇÃO DE GAIOLA	20
3.5. PRINCIPAIS PERDAS	21
3.5.1. PERDAS NO FERRO	22
3.5.2. PERDAS MECÂNICAS	24
3.5.3. PERDAS SUPLEMENTARES	24
3.5.4. PERDAS JOULE	25
3.6. MOTOR DE ALTO RENDIMENTO	25

3.6.1. CARACTERÍSTICAS	27
3.6.2. VENDAS POR LINHA DE PRODUTOS	29
3.7. MÉTODOS DE PARTIDA	30
3.7.1. PARTIDA DIRETA	31
3.7.2. CHAVE ESTRELA – TRIÂNGULO	32
3.7.3. CHAVE COMPENSADORA	33
3.7.4. CONVERSOR DE FREQUÊNCIA	35
3.7.5. SOFT-STARTER	36
3.8. CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO	37
3.8.1. ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA	37
3.8.2. CLASSES DE ISOLAÇÃO	38
3.8.3. VIDA ÚTIL	39
3.9. QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA	40
3.9.1. PERTURBAÇÕES ELÉTRICAS	41
3.9.1.1. AMPLITUDE DA TENSÃO	41
3.9.1.2. AFUNDAMENTO DE TENSÃO	41
3.9.1.3. ELEVAÇÃO MOMENTÂNEA DE TENSÃO	42
3.9.1.4. SOBRETENSÃO E SUBTENSÃO	42
3.9.1.5. FREQUÊNCIA DO SINAL	43
3.9.1.6. DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO	43
3.9.2. HARMÔNICAS	45
3.9.2.1. HARMÔNICAS E MOTORES ELÉTRICOS	48
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA	50
4.1. INTRODUÇÃO	50

4.2. MOTOR ORIGINALMENTE INSTALADO	53
4.2.1. CÁLCULO DO CONJUGADO NOMINAL	53
4.2.2. VERIFICAÇÃO DO CONJUGADO EXIGIDO PELA CARGA	54
4.2.3. CÁLCULO DO CONJUGADO MÉDIO ACELERADOR	54
4.2.4. CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA TOTAL	56
4.2.5. CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA DA MÁQUINA	57
4.3. MOTOR PROPOSTO	57
4.3.1. CÁLCULO DO CONJUGADO NOMINAL	57
4.3.2. CÁLCULO DO CONJUGADO MÉDIO ACELERADOR	58
4.3.3. CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA TOTAL	58
4.3.4. CÁLCULO DO TEMPO DE ACELERAÇÃO	58
CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASO	59
5.1. INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA	59
5.2. ESTUDO DE CASO	60
5.3. SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES DE MESMA POTÊNCIA NOMINAL	61
5.4. REDIMENSIONAMENTO MOTRIZ	65
5.4.1. MOTOR PADRÃO 200 cv PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO	69
5.4.1.1. CÁLCULO DO CONJUGADO NOMINAL	69
5.4.1.2. CONJUGADO EXIGIDO PELA CARGA	69
5.4.1.3. CÁLCULO DO CONJUGADO MÉDIO ACELERADOR	69
5.4.1.4. CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA TOTAL	69
5.4.1.5. CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA DA MÁQUINA	70
5.4.2. MOTOR DE ALTO RENDIMENTO 75 cv COM PARTIDA DIRETA	70
5.4.2.1. CÁLCULO DO CONJUGADO NOMINAL	70

5.4.2.2. CÁLCULO DO CONJUGADO MÉDIO ACELERADOR	70
5.4.2.3. CÁLCULO DO MOMENTO DE INÉRCIA TOTAL	70
5.4.2.4. CÁLCULO DO TEMPO DE ACELERAÇÃO	70
CAPÍTULO 6 - ANÁLISE ECONÔMICA	73
6.1. DEFINIÇÕES	73
6.1.1. VALOR PRESENTE LÍQUIDO	73
6.1.2. TAXA INTERNA DE RETORNO	73
6.1.3. JUROS	75
6.2. PLANILHA EXCEL	75
6.3. TARIFAS	76
6.3.1. DEFINIÇÕES	78
6.3.2. GRUPOS DE CONSUMIDORES	79
6.3.3. ESTRUTURA TARIFÁRIA	80
6.3.3.1. TARIFA CONVENCIONAL	80
6.3.3.2. TARIFA HORO-SAZONAL VERDE	80
6.3.3.3. TARIFA HORO-SAZONAL AZUL	80
6.3.4. CONTRATAÇÃO	81
6.3.5. ALTERAÇÃO DA DEMANDA CONTRATADA	82
6.3.6. ULTRAPASSAGEM DA DEMANDA CONTRATADA	82
6.4. RESULTADOS	83
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Através de diversas maneiras, a energia elétrica está presente em nosso meio. Com seu desenvolvimento, a partir do século passado, novos padrões de conforto e bem estar foram criados, tornando o homem altamente dependente deste insumo, devido aos benefícios proporcionados, independente de sua localização ou nível social.

Nas últimas três décadas, a eletricidade vem ganhando importância na matriz energética brasileira, sendo atualmente a principal fonte de energia utilizada.

A Figura 1.1 apresenta o consumo de energia por fonte no Brasil, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN, 1998):

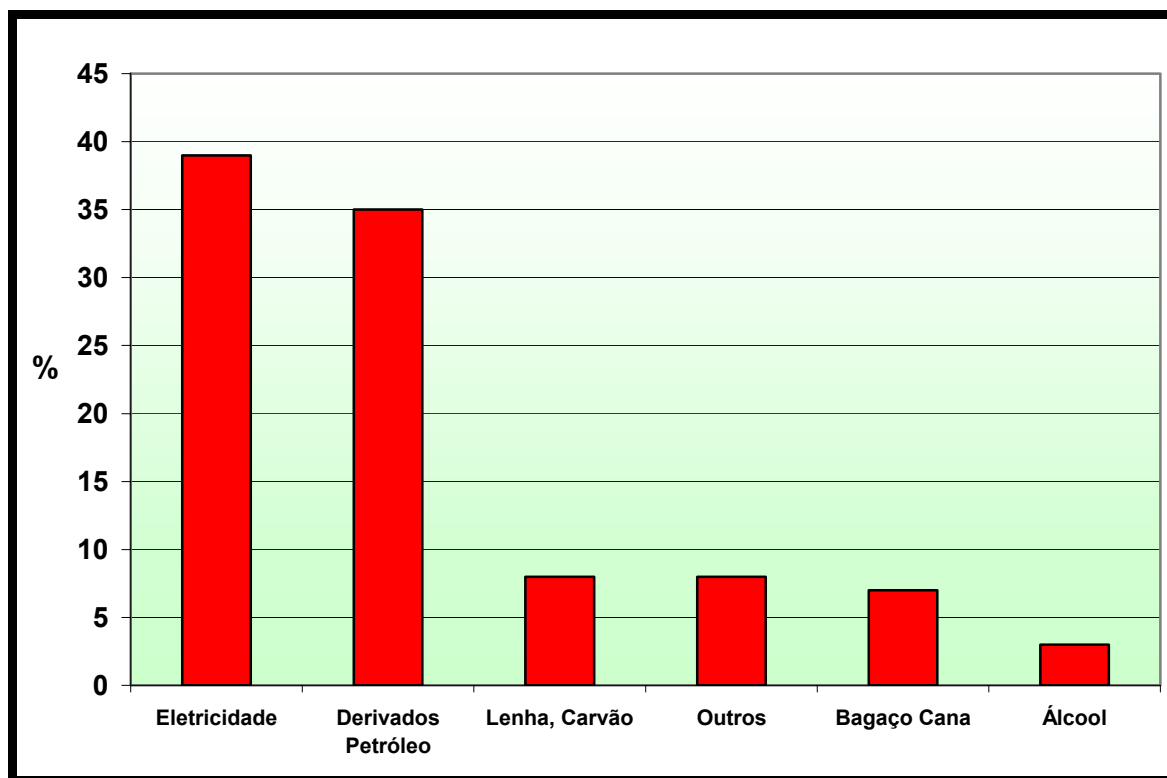


Figura 1.1. Consumo final de energia por fontes no Brasil (BEN, 1998)

As formas mais comuns de produção de energia elétrica no mundo são apresentadas na Figura 1.2 (OLADE, 1999):

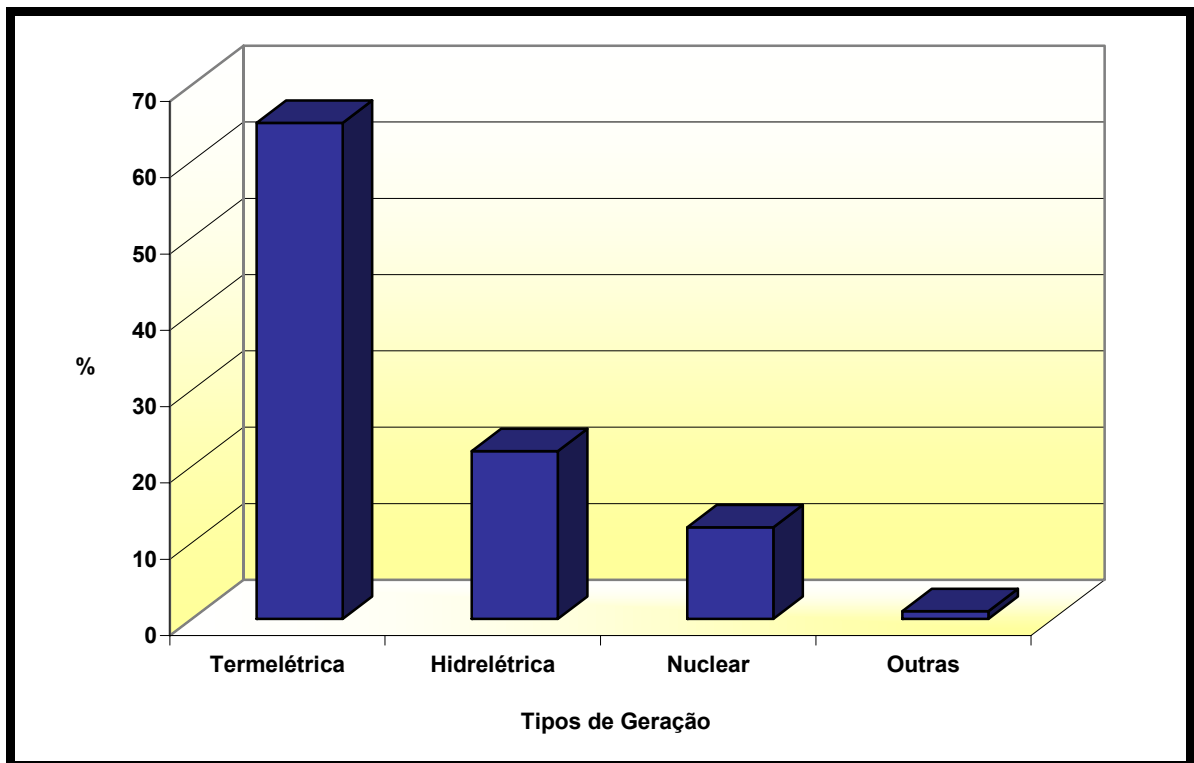


Figura 1.2. Formas de produção de energia elétrica no mundo (OLADE, 1999)

Como se pode notar, a utilização de usinas termelétricas na produção de energia elétrica ainda é bem predominante em todo o mundo, tendo como conseqüências, riscos ambientais e danos à saúde das populações, devido ao fato de serem construídas perto de grandes centros de carga.

As termelétricas, através da queima de combustíveis fósseis, são fontes poluidoras e também lançam efluentes aéreos, trazendo graves conseqüências ao meio ambiente.

Queimando carvão, óleo combustível e gás natural, a contaminação se inicia na mineração e extração do combustível e por fim na emissão de produtos químicos contaminantes. A Figura 1.3 apresenta a porcentagem dos principais poluentes

lançados na atmosfera anualmente, através de uma usina termelétrica de 1 GW (VEIGA, 2001):

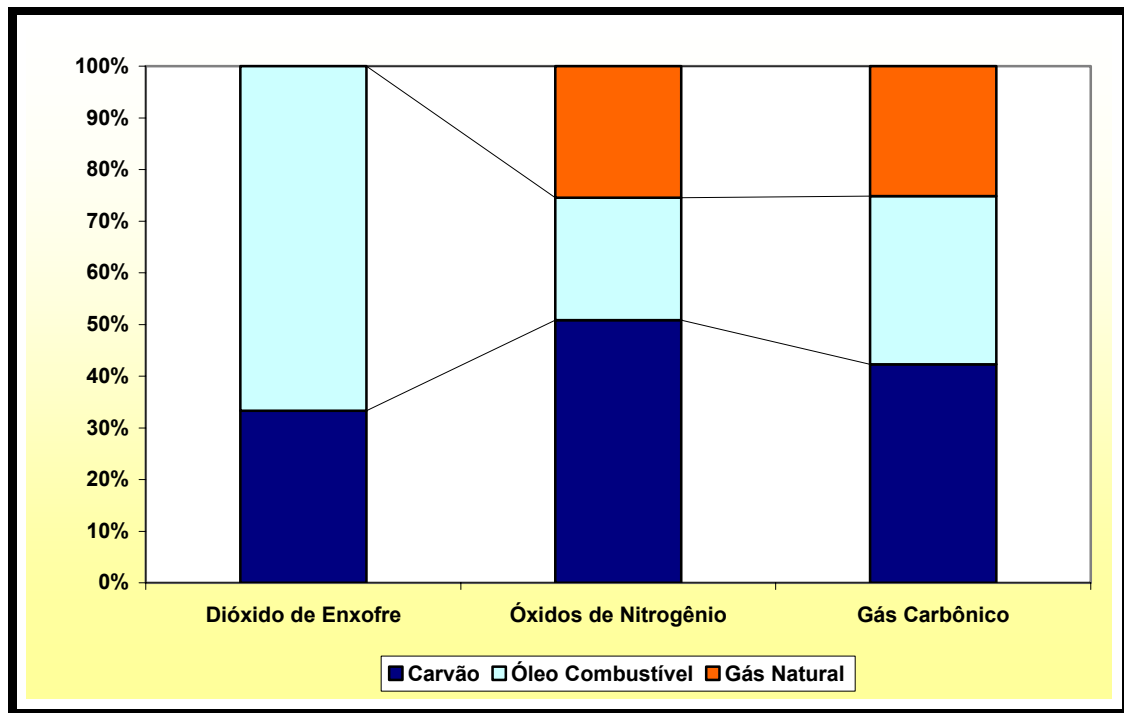


Figura 1.3. Emissões atmosféricas de uma central termelétrica de 1 GW (VEIGA, 2001)

Em segundo lugar, temos as hidrelétricas, que não poluem, mas causam grandes impactos ambientais, prejudicando a natureza e as populações ribeirinhas.

As hidrelétricas são responsáveis pela transformação de sistemas fluviais em grandes lagos, vindo a interferir no ecossistema da região onde estão sendo construídas, causando impactos na flora, na fauna e no clima.

Em seguida, têm-se as usinas nucleares, que parecem funcionar de maneira limpa e eficiente, porém, uma anormalidade é suficiente para gerar uma grande quantidade de vítimas fatais.

Estas são apontadas como alternativa para se evitar a poluição ambiental, decorrente da queima de combustíveis fósseis, como também medida de precaução, visando a garantia de energia elétrica, diante da perspectiva de esgotamento do petróleo.

Devido ao fato de não emitir nenhum gás causador do efeito estufa, a geração nuclear é considerada um dos processos menos poluentes de produção de energia elétrica.

Por fim, temos as chamadas energias alternativas, que ao passar dos anos, vão se tornando mais competitivas no mercado, sendo uma excelente opção para o benefício do meio ambiente.

Dentre as principais fontes alternativas, podemos citar: eólica, geotérmica, marémotriz, fotovoltaica e célula combustível (RAMOS; MAGALHÃES, 2003).

A opção entre as formas de geração está relacionada à existência de fontes primárias renováveis ou não, sendo esta escolha influenciada por condições econômicas, ecológicas e tecnológicas do local onde se pretende implantar a usina de geração.

A produção de energia elétrica exige investimentos financeiros efetuados anos antes do seu retorno, sendo este valor compensado, através da receita proveniente da venda da energia produzida. A Figura 1.4 apresenta o crescimento da produção de energia elétrica no Brasil, segundo BEN (2003):

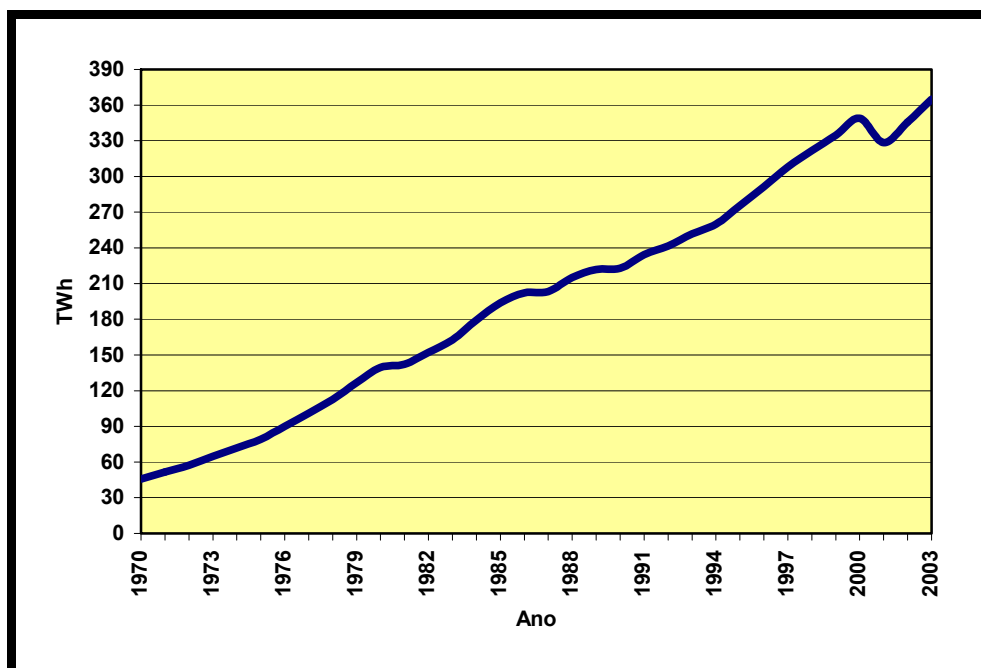


Figura 1.4. Crescimento da produção de energia elétrica no Brasil (BEN, 2003)

Deve-se também, manter o padrão e a qualidade dos serviços prestados através de investimentos em linhas de transmissão e distribuição, visando as necessidades do cliente e prevendo o crescimento da demanda de energia.

O Brasil, por possuir recursos hídricos em abundância, possui uma geração de energia elétrica predominantemente hidráulica, correspondendo, desde a década de 90, a mais de 90% da potência elétrica instalada para fins de geração (REIS, 2000).

Possuindo hoje uma capacidade instalada de mais de 90 GW, o país precisa, não somente investir em geração e transmissão, mas também em programas de conservação e efficientização de energia elétrica, contribuindo para o crescimento econômico, preservação do meio ambiente e conforto para a população.

Através da reforma do setor elétrico, com a criação da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica e a privatização das distribuidoras de energia, novos incentivos foram dados à programas de conservação, através de um item contratual, onde 1% da receita operacional líquida da concessionária ou permissionária de energia elétrica, deve ser aplicado em Programas de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (MANUAL..., 2004) (LEI n. 9991, 2000).

A maior vantagem em se aplicar recursos em programas de eficiência energética deve-se ao fato desta opção ser mais barata do que a produção de energia nova.

Investir em tecnologia de eficiência também demanda gastos de capital, porém o retorno do investimento é mais rápido do que se produzir energia. Isto se dá, devido ao fato de quem produz a energia elétrica é uma empresa ou concessionária, e quem realiza a efficientização da energia, é o consumidor, onde

ambos possuem prioridades de investimentos diferentes e exigem tempos de retorno diferentes.

Muitos países industrializados preferem introduzir novas tecnologias, leis e políticas de preços, incentivando o uso eficiente de energia, tendo como resultado, um menor crescimento da demanda total de energia.

Através da implantação de uma política energética abrangente e balanceada, incluindo programas de conservação de energia e eficiência energética, pode-se reduzir as emergências e os cortes de energia elétrica, evitando desconfortos e problemas para a população (REIS, 2000).

CAPÍTULO 2 – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

2.1. PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Em julho de 2000, foi sancionada a Lei n. 9.991 (2000), pelo então Presidente da República, Fernando Henrique Cardoso, dispondo sobre a realização de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento e em Eficiência Energética pelas empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica.

Segundo o artigo primeiro desta Lei, até o dia 31 de dezembro de 2005, as concessionárias e permissionárias de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de 0,50% de sua Receita Operacional Líquida - ROL, tanto em Programas de Pesquisa e Desenvolvimento, como também em Eficiência Energética e uso final de energia.

A partir desta data, os valores ficam definidos como sendo: 0,75% para Programas de Pesquisa e Desenvolvimento e 0,25% para Eficiência Energética e uso final de energia.

A Tabela 2.1 apresenta as regras para investimentos que as empresas de distribuição do setor elétrico devem seguir (MANUAL..., 2002):

Tabela 2.1 - Regras para investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética

Empresa de	Regra de Transição			Regra Definitiva		
	P&D (%ROL)	Eficiência (%ROL)	Prazo de validade	P&D (%ROL)	Eficiência (%ROL)	Prazo de validade
Distribuição	0,50	0,50	Até 31/12/2005	0,75	0,25	Após 31/12/2005

Dos recursos destinados a Pesquisa e Desenvolvimento, 50% são destinados ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (LEI n. 8172, 1991) e o restante é aplicado em programas que são desenvolvidos pelas concessionárias e permissionárias, segundo regulamentos estabelecidos pela ANEEL, contidos na Resolução n. 185 (2001).

2.2. MANUAL DO PEE

O manual para elaboração do Programa de Eficiência Energética é um guia de procedimentos dirigido a concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica, onde são definidos os tipos de projeto, formas de apresentação, critérios para avaliação econômica, contabilização dos custos, entre outros.

Os recursos financeiros podem ser adquiridos junto aos organismos financeiros nacionais ou internacionais, sendo que, investimentos a "fundo perdido" também podem ser contabilizados, desde que não sejam originários de órgãos públicos brasileiros.

O manual define os projetos como sendo *plurianuais*, possuindo um período de execução entre 1 e 3 anos, e metas a serem seguidas e verificadas a cada ano.

Através de um *contrato de desempenho*, cliente e concessionária tem como objetivo, realizar ações de eficiência energética, sendo que o valor investido pode ser recuperado, mediante a comprovação da redução de despesas com energia elétrica, através da melhoria da eficiência em equipamentos de uso final.

Todos os projetos de eficiência energética devem ser apresentados em audiência pública, para que os consumidores e a sociedade tomem conhecimento

dos programas de combate ao desperdício de energia elétrica, bem como possam participar, através de opiniões e sugestões.

A estrutura do Programa de Eficiência Energética deve ser composta de:

- **Introdução:** deve-se relatar as condições relativas à opção pelos projetos propostos, tais como: conservação de energia, redução ou deslocamento da demanda de ponta, características das cargas e previsões futuras para o aumento da capacidade instalada.
- **Retrospecto:** deve-se apresentar uma retrospectiva dos projetos executados no ciclo anterior (se houver), com as seguintes informações: nome do projeto, ciclo, energia economizada, demanda evitada, valor do projeto e situação que se encontra o projeto.
- **Indicadores:** são compostos de: Histórico do fator de carga e da taxa anual de crescimento de mercado por segmento, ambos dos últimos 5 anos; Histórico da demanda máxima do sistema elétrico da concessionária dos últimos 3 anos; Tarifa utilizada no cálculo dos custos evitados.
- **Metas:** deve-se descrever os objetivos pretendidos, incluindo o percentual de economia de energia e a quantidade de consumidores beneficiados.

Toda empresa que participa do Programa de Eficiência Energética deve possuir sua própria equipe ou contar com apoio de terceiros. Todos aqueles que participarem diretamente dos projetos de eficiência energética devem ser

apresentados, sendo necessário nomear um profissional responsável pelos contatos com a ANEEL.

Nos primeiros 6 meses após a aprovação do projeto, deve-se enviar um relatório de acompanhamento à ANEEL, com o objetivo de apresentar os resultados obtidos até o momento, sendo que o relatório final deve ser elaborado e enviado até 30 dias após a conclusão do Programa.

Os projetos apresentados devem ser dos seguintes tipos:

- a. Comercial/Serviços:** instalações de grande, médio e pequeno porte: ações de combate ao desperdício e efficientização de equipamentos. Esses projetos somente são aceitos se possuírem uma avaliação preliminar, chamada de pré-diagnóstico.
- b. Educação:** projetos voltados ao ensino da conservação e uso racional de energia, nas escolas (através de palestras, feiras, eventos), nos ensinos de nível médio e superior e também em comunidades de baixa renda.
- c. Gestão Energética Municipal:** projetos que estimulam os municípios brasileiros a desenvolverem ações de combate ao desperdício de energia, implantadas nos seus próprios centros consumidores.
- d. Iluminação Pública:** aumento da eficiência nos sistemas de iluminação pública, através da instalação de equipamentos mais eficientes, como lâmpadas, luminárias, reatores, etc.

- e. **Industrial:** projetos em plantas industriais, com ações de combate ao desperdício de energia, efficientização de equipamentos de uso final e otimização de processos. Os projetos somente serão aceitos se acompanhados do pré-diagnóstico.

- f. **Poderes Públicos:** projetos em instalações de pessoa jurídica, através do combate ao desperdício de energia e efficientização de equipamentos. São aceitos se acompanhados do pré-diagnóstico.

- g. **Residencial:** projetos em unidades consumidoras residenciais, bem como prédios ou conjuntos de edificações, com ações de efficientização em equipamentos de uso final e combate ao desperdício de energia.

- h. **Rural:** projetos em unidades consumidoras rurais, através da implementação de equipamentos elétricos rurais mais eficientes.

- i. **Serviços Públicos:** projetos que tem por objetivo a efficientização em sistemas de água, esgoto e saneamento, exploradas ou não pelo poder público, mediante concessão ou autorização. Esses projetos serão aceitos, somente se acompanhados do pré-diagnóstico.

- j. **Aquecimento Solar:** projetos destinados a substituição do chuveiro elétrico por aquecimento solar, com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica e a demanda de ponta. (MANUAL..., 2002)

2.3. ELABORAÇÃO DE PROJETOS INDUSTRIAIS

Os projetos de Eficiência Energética Industrial devem seguir alguns critérios durante sua elaboração, como (MANUAL...,2002):

- a. **Objetivos:** devem ser descritos os objetivos do projeto, destacando aqueles que estejam vinculados à conservação de energia e eficiência energética.

- b. **Descrição:** deve-se detalhar o projeto, através da identificação das unidades industriais onde serão executados, indicando o segmento industrial correspondente (alimentos e bebidas, papel e celulose, plásticos, siderurgia, etc.).

- c. **Avaliação:** deve-se apresentar os resultados do projeto em termos de economia de energia e redução de demanda, comparando os valores estimados com os realmente obtidos. É necessário também a inclusão das análises das medições e das contas de energia, num período mínimo de 12 meses, para o levantamento dos ganhos com a economia de energia e redução de demanda.

- d. **Abrangência:** deve-se indicar os segmentos industriais selecionados com as respectivas regiões priorizadas.

- e. **Metas:** deve-se informar as metas quantificáveis relacionadas ao projeto, através da energia (kWh) e demanda (kW), baseadas em valores

verificados durante o pré-diagnóstico realizado. Deve-se também explicitar a metodologia e as proposições utilizadas para estimar as metas apresentadas, tais como: características dos equipamentos por tipo de sistema, cálculo dos resultados esperados, cálculo da relação custo – benefício do projeto.

- f. Promoção: deve-se detalhar todas as ações de promoção e divulgação, quando existirem.

- g. Prazos e Custos: deve-se apresentar os cronogramas físico – financeiros e o demonstrativo de custos e da origem dos recursos obtidos. A apresentação do memorial de cálculos deve ser feita a partir dos custos unitários de equipamentos e materiais utilizados, bem como serviços de mão de obra, seja esta própria ou de terceiros.

2.4. RESULTADO FINAL DO PEE

No relatório final do Programa de Eficiência Energética, devem constar informações qualitativas e quantitativas do mesmo, inclusive:

- Nome do responsável pelo Projeto de Eficiência Energética e pelo Relatório Final.

- Nome da Concessionária, área de concessão, número de consumidores, energia distribuída, classe de consumo.

- Receita Operacional Líquida (ROL) e valores investidos.

- Título do projeto, número e tipo.
- Resultados mensuráveis, como diminuição do consumo de energia elétrica e redução da demanda na ponta, valores estes totais e também por categoria.
- Alterações relevantes ocorridas nos projetos em relação às propostas aprovadas no PEE, com os respectivos ofícios de autorização da ANEEL.
- Dificuldades encontradas no Programa de Eficiência Energética.
- Avaliação geral sobre o PEE do ciclo relatado, comparando-o com ciclos anteriores, quando houver, através de um quadro-resumo.

2.5. INVESTIMENTOS

A Figura 2.1 apresenta os investimentos em Eficiência Energética realizados pelas principais Concessionárias de Energia Elétrica do país, segundo a ANEEL (1999):

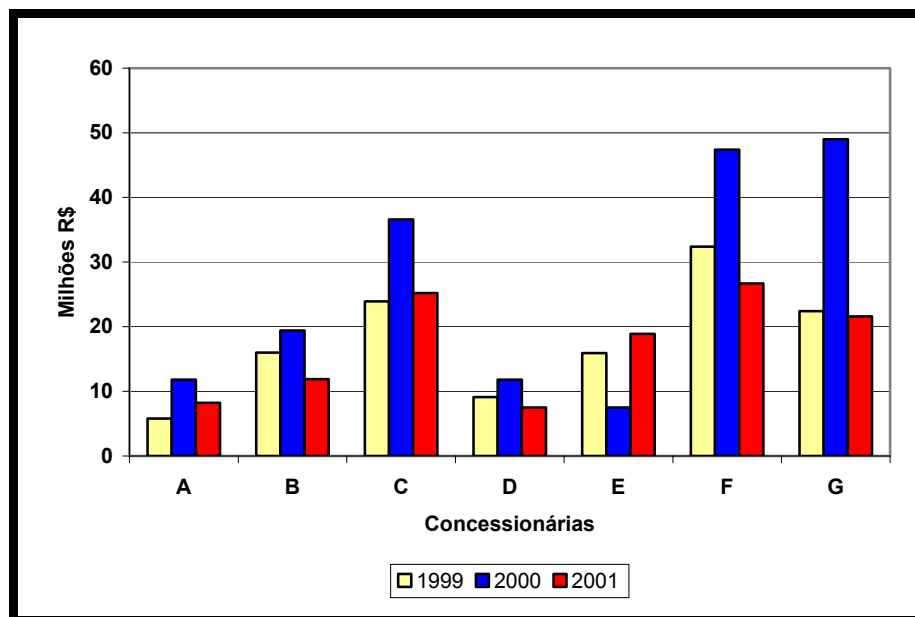


Figura 2.1. Investimentos em Eficiência Energética – Principais Concessionárias (ANEEL, 1999)

A Figura 2.2 apresenta o investimento total em Eficiência Energética realizado pelas Concessionárias de Energia Elétrica do país, segundo a ANEEL (1999):

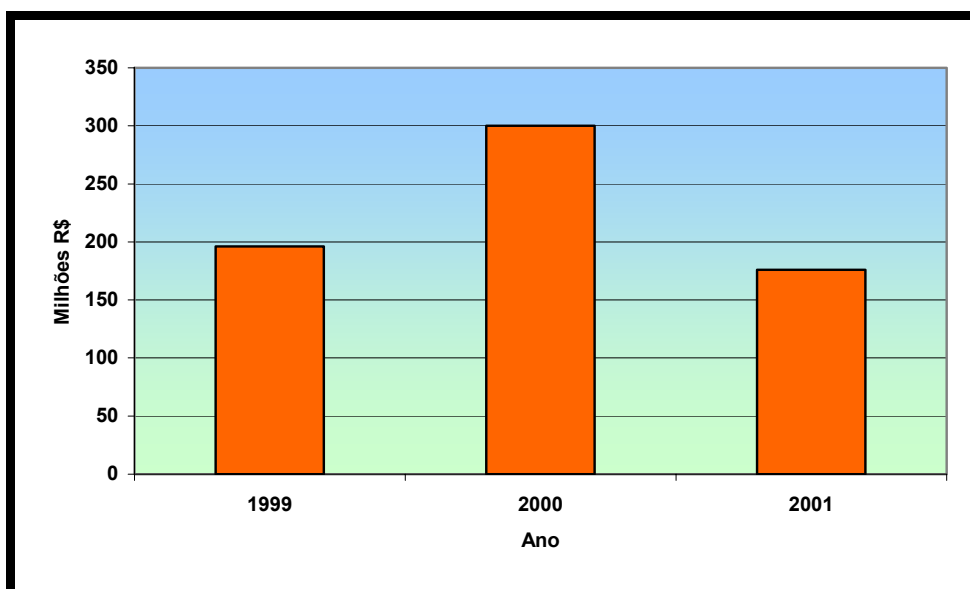


Figura 2.2. Investimentos em Eficiência Energética – TOTAL (ANEEL, 1999)

CAPÍTULO 3 – MOTORES ELÉTRICOS

3.1. MOTOR ELÉTRICO

O motor elétrico é um conversor eletromecânico baseado em princípios eletromagnéticos capaz de transformar energia elétrica em energia mecânica de utilização.

A máquina de indução desenvolvida por Dolivo Dobrovolsky, em 1890, é a que mais se assemelha aos motores atuais. Porém, anos antes de seu surgimento formal, o motor elétrico já tinha sido estudado, conforme mostra a Figura 3.1 (SENS, 1985):

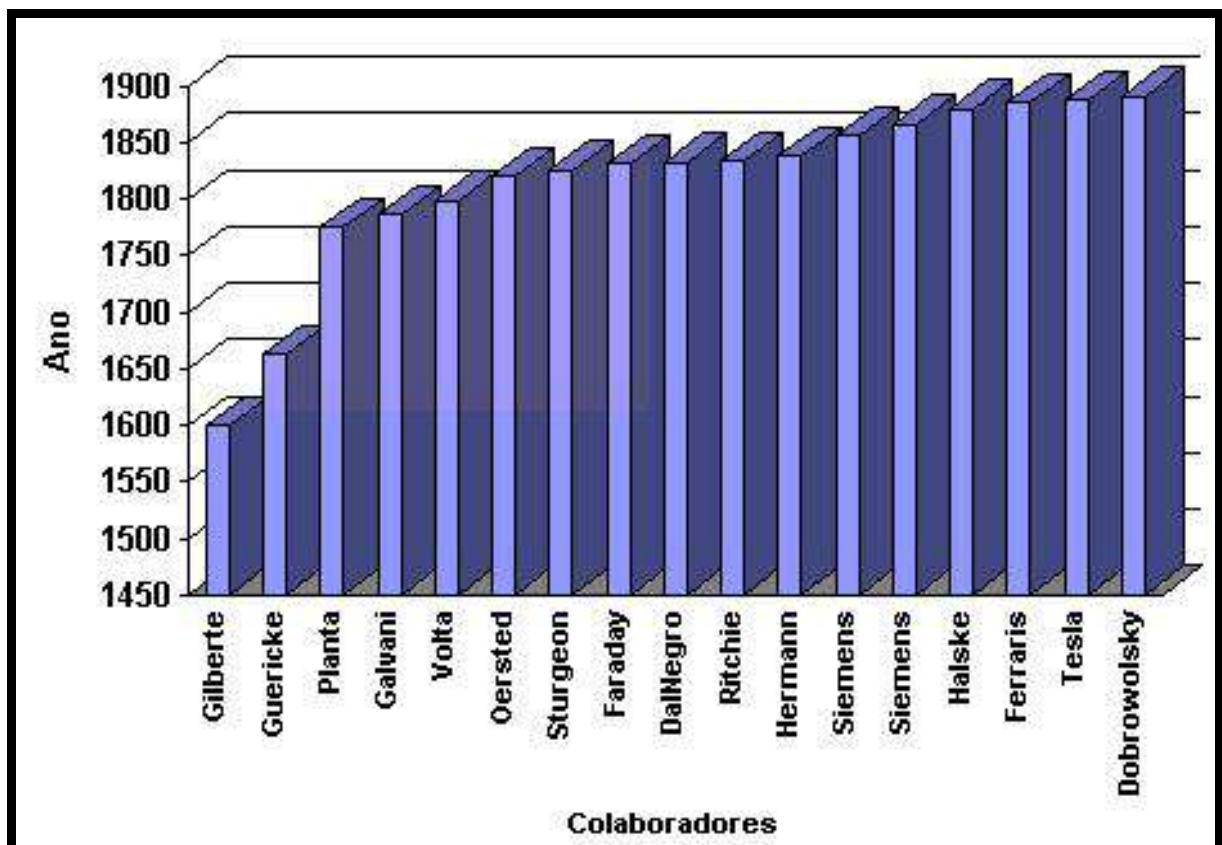


Figura 3.1. Participantes do desenvolvimento do motor elétrico (SENS, 1985)

Desde então, os motores elétricos vêm sofrendo inúmeras melhorias, evoluindo tecnologicamente através dos anos, devido à modificações em seu projeto, construção e fabricação.

A Figura 3.2 apresenta a evolução dos motores elétricos. Nesta, pode-se notar a redução de massa que o motor elétrico vem sofrendo ao longo dos anos. Isto se dá, devido ao desenvolvimento de novos isolantes elétricos, materiais com melhores propriedades magnéticas e sistemas de ventilação mais eficientes (ELETROBRÁS, 2003):

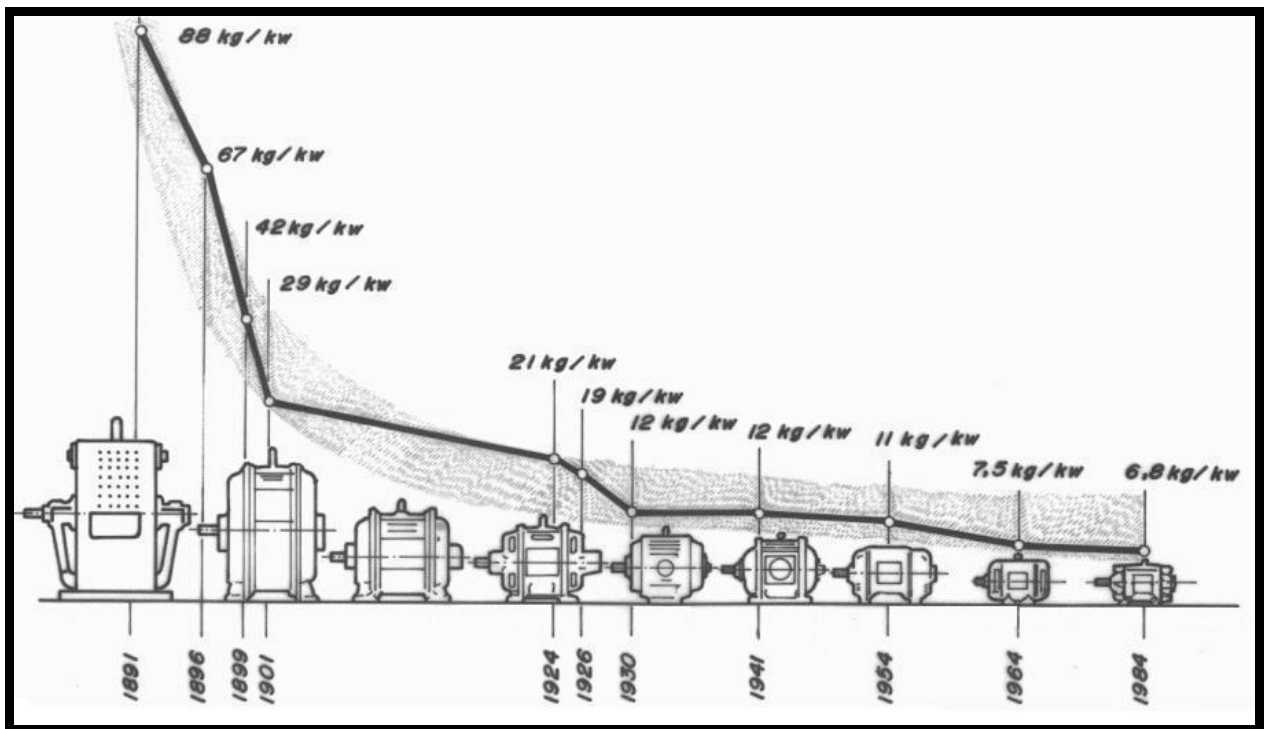


Figura 3.2. Evolução dos motores elétricos (ELETROBRÁS, 2003)

3.2. CLASSIFICAÇÃO

Os motores elétricos são divididos em dois grandes grupos:

- Corrente contínua.
- Corrente alternada.

A Figura 3.3 apresenta a classificação dos motores elétricos (MAMEDE, 1997):

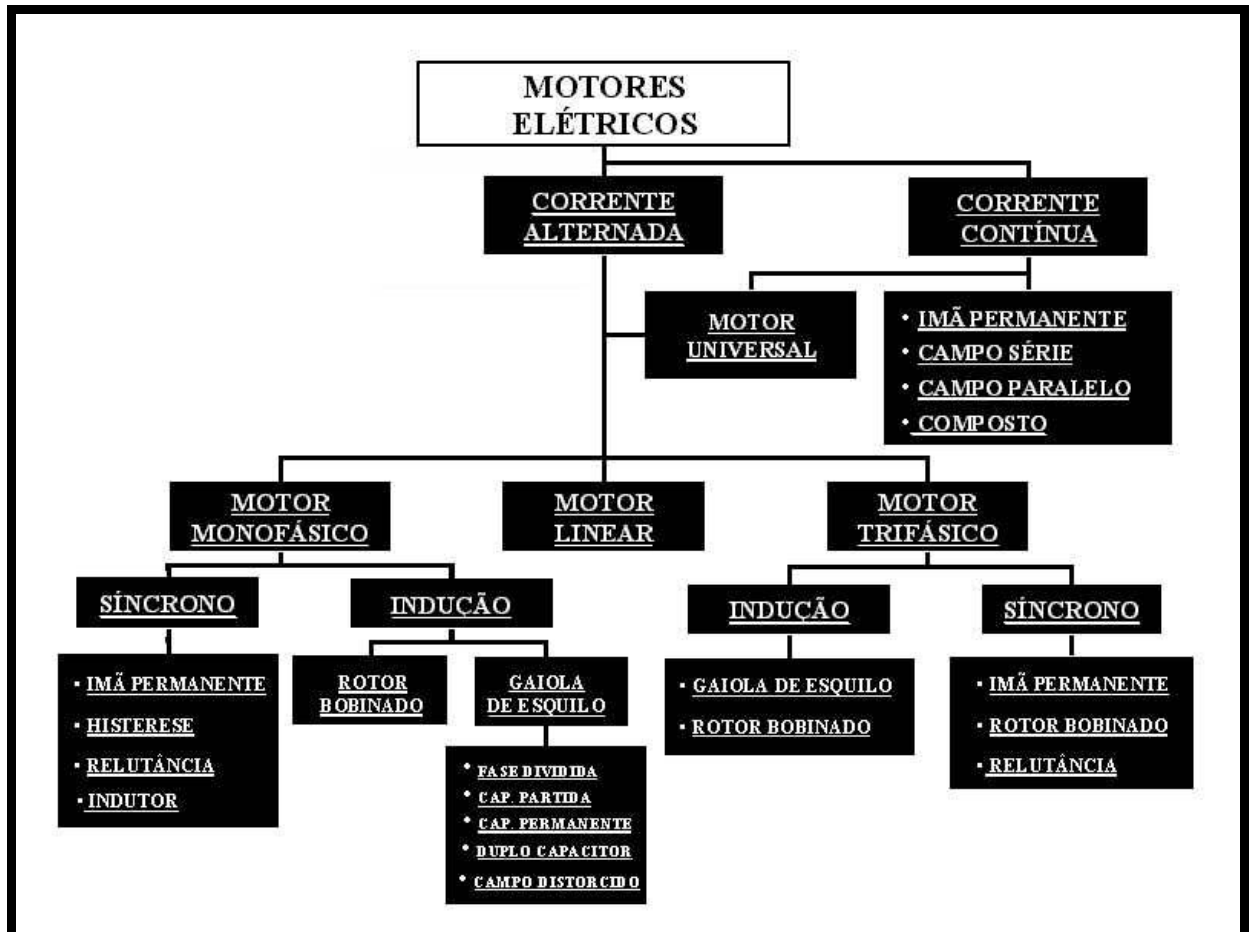


Figura 3.3. Classificação dos motores elétricos (MAMEDE, 1997)

3.3. MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

Acionados por uma fonte de corrente contínua, os motores CC são utilizados na indústria em processos que exigem um fino controle de velocidade.

Os motores de corrente contínua são divididos em:

- Motores com ímãs permanentes.
- Motores série.

- Motores em derivação.
- Motores compostos.

3.4. MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA

São utilizados em grande parte das instalações industriais, devido ao fato de possuírem construção mais simples e custo de manutenção reduzido, quando comparados aos motores de corrente contínua.

Os motores de corrente alternada trifásicos são divididos em síncronos ou assíncronos.

3.4.1. MOTORES SÍNCRONOS

Os motores síncronos são de pequena utilização em plantas industriais. Funcionam, aplicando-se uma tensão alternada no estator e uma tensão CC no rotor, tensão esta, aplicada através de anéis coletores.

Se a corrente de excitação possuir um valor reduzido, a força eletromotriz induzida também será de valor reduzido, sendo que o estator absorve da rede de alimentação uma determinada potência reativa necessária à formação de seu campo magnético. Neste momento, a corrente está atrasada em relação a tensão da rede.

Se a corrente de excitação for aumentada, haverá um momento onde a corrente estatórica estará em fase com a tensão da rede de alimentação, significando fator de potência unitário. Aumentando ainda mais a corrente de excitação, a corrente do estator ficará adiantada em relação a tensão de alimentação, fazendo com que o motor forneça potência reativa à rede.

Desta forma, o motor síncrono é mais utilizado como compensador de reativos, tendo seu lugar garantido, em grandes subestações que necessitam de um ajuste fino do fator de potência.

3.4.2. MOTORES ASSÍNCRONOS

Os motores assíncronos de indução podem ser de anéis (rotor bobinado) ou rotor em gaiola.

3.4.2.1. MOTOR DE INDUÇÃO DE ANÉIS

O motor de anéis é constituído de um rotor envolvido por bobinas interligadas com os terminais conectados a anéis presos ao eixo, isolados eletricamente deste e entre si, e ligados a uma resistência trifásica que possui um cursor rotativo. As resistências são utilizadas somente durante a partida do motor, e quanto maior o seu valor, maior será o torque de partida desenvolvido pelo motor.

3.4.2.2. MOTOR DE INDUÇÃO DE GAIOLA

O motor de indução com rotor em gaiola é o mais empregado atualmente nas indústrias.

Seu rotor é formado por um conjunto de barras interligadas através de anéis condutores, tendo como característica, operação em velocidade praticamente constante, variando ligeiramente, de acordo com a carga aplicada ao eixo.

O funcionamento do motor de indução baseia-se no princípio de formação do campo magnético girante, produzido no estator devido à passagem de corrente elétrica em suas bobinas, cujo fluxo, por efeito de sua variação, se desloca em torno do rotor, gerando neste correntes induzidas que tendem a se opor ao campo girante, sendo no entanto, arrastado por ele (MAMEDE, 1997).

Se o motor estiver em vazio, o rotor desenvolve uma velocidade angular próxima à do campo girante, velocidade esta que diminui à medida que se adiciona carga mecânica ao eixo.

A diferença entre as velocidades síncrona e a do rotor é denominada de escorregamento, e pode ser determinada de acordo com a expressão 3.1 (MAMEDE, 1997).

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Onde:

s = escorregamento [%].

n_s = velocidade síncrona [rpm].

n = rotação [rpm].

3.5. PRINCIPAIS PERDAS

Sendo o motor elétrico um conversor de energia baseado em princípios eletromagnéticos, é impossível que esta conversão seja perfeita, devido a uma série de perdas que ocorrem no interior da máquina. Essas perdas são apresentadas na Figura 3.4 (ELETROBRÁS, 2003):

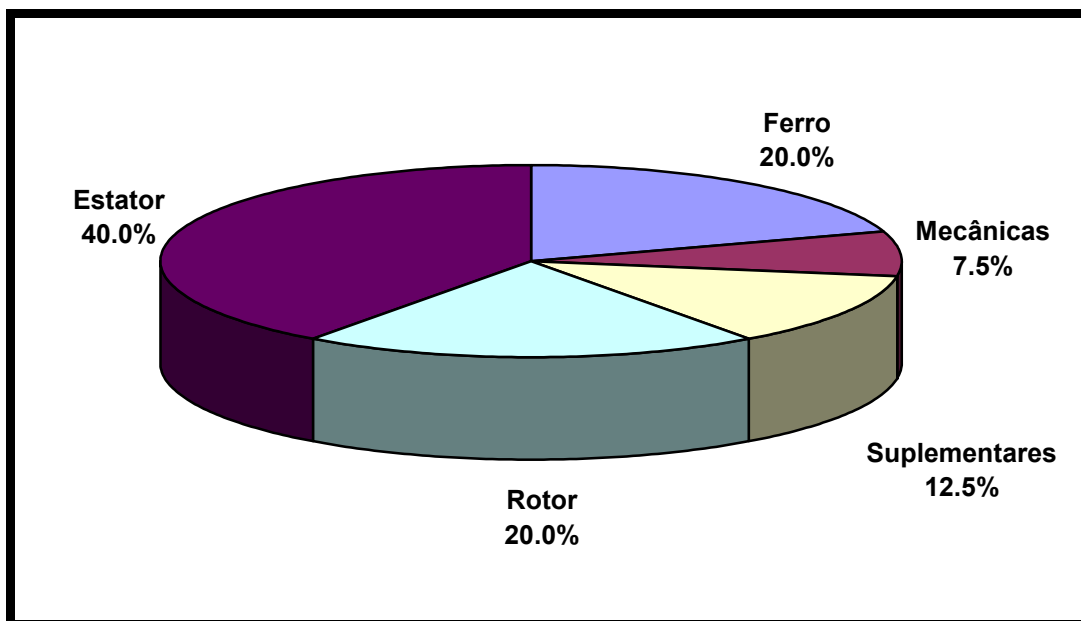


Figura 3.4. Principais perdas em um motor elétrico de indução (ELETROBRÁS, 2003)

3.5.1. PERDAS NO FERRO

Devido ao fato da tensão aplicada ser do tipo alternada, as correntes que circulam no enrolamento do estator, produzem um campo magnético variável no núcleo ferromagnético, ocasionando dois tipos de perdas:

- Perdas Foucault.
- Perdas por Histerese.

As perdas Foucault ocorrem devido às correntes induzidas no interior do material magnético, produzindo perdas na forma de calor. Essas perdas podem ser determinadas através da expressão 3.2 (AUGUSTO, 2001):

$$P_{FC} = K_{FC} \cdot f^2 \cdot B_M^2 \cdot e \cdot V \quad (3.2)$$

Onde:

P_{FC} = perdas Foucault [kW].

K_{FC} = coeficiente que depende das propriedades do material.

B_M = indução máxima do núcleo [Wb/m²].

f = frequência da tensão de alimentação [Hz].

e = espessura da chapa do material magnético que compõe o núcleo [mm].

V = volume do núcleo magnético [m³].

As perdas por Histerese resultam da orientação alternada do campo magnético sobre o pacote de lâminas de aço-silício e podem ser determinadas pela expressão 3.3 (AUGUSTO, 2001):

$$P_H = K_H \cdot f \cdot B_M^n \cdot V \quad (3.3)$$

Onde:

P_H = perdas por Histerese [kW].

K_H = coeficiente que depende das propriedades do material.

B_M = indução máxima do núcleo [Wb/m²].

f = frequência da tensão de alimentação [Hz].

n = expoente para determinação das perdas por histerese.

V = volume do núcleo magnético [m³].

As perdas por Foucault e Histerese ocorrem tanto no estator como no rotor (ELETROBRÁS, 2003). As perdas no ferro podem ser determinadas pela expressão 3.4 (AUGUSTO, 2001):

$$P_{FE} = P_{FC} + P_H \quad (3.4)$$

Onde:

P_{FE} = perdas no ferro [kW].

P_{FC} = perdas Foucault [kW].

P_H = perdas por Histerese [kW].

3.5.2. PERDAS MECÂNICAS

As perdas mecânicas nos motores de indução estão relacionadas com o atrito nos rolamentos e com o arraste aerodinâmico provocado pelo ventilador e pela geometria irregular do rotor.

As perdas por atrito nos rolamentos dependem da lubrificação, alinhamento e montagem do motor, enquanto que as perdas por ventilação podem variar, dependendo das aberturas de ventilação e do formato das barras do rotor (ELETROBRÁS, 2003) (AUGUSTO, 2001).

3.5.3. PERDAS SUPLEMENTARES

As perdas suplementares podem ser divididas em duas parcelas: perdas suplementares nos enrolamentos e no núcleo de ferro.

Nos enrolamentos, as perdas ocorrem principalmente devido ao efeito pelicular, e podem aumentar conforme o alojamento feito pelos condutores nas ranhuras.

No núcleo de ferro, as perdas suplementares ocorrem principalmente devido a região de entreferro, onde as ranhuras do rotor e do estator, produzem campos magnéticos de alta frequência, produzindo perdas adicionais.

As perdas suplementares são desprezíveis quando o motor está em vazio e são diretamente proporcionais ao quadrado do carregamento da máquina (AUGUSTO, 2001).

3.5.4. PERDAS JOULE

As perdas Joule nos enrolamentos do estator e do rotor resultam da passagem da corrente elétrica e podem ser expressas por “ $3.R.I^2$ ”, onde R é a resistência ôhmica de fase do enrolamento, corrigida para uma temperatura especificada pela NBR 7094 (1996) e I, o valor eficaz da corrente de fase do enrolamento.

As perdas Joule variam com o quadrado da corrente eficaz, sendo responsáveis por aproximadamente 60% das perdas totais (ELETROBRÁS, 2003).

A vida útil de um motor elétrico está relacionada ao aquecimento das bobinas dos enrolamentos, e se ultrapassar os limites estabelecidos pelas normas, poderá acelerar o envelhecimento do isolamento, em função de não mais suportar a tensão nominal, ficando o motor sujeito a um curto-circuito.

3.6. MOTOR DE ALTO RENDIMENTO

A definição de motor de alto rendimento surgiu em 1989, nos Estados Unidos, através da publicação da Tabela 12.6B, integrante da Norma MG1, da NEMA (1998).

No Brasil, a última emenda da NBR 7094 (2000) da ABNT, definiu novos valores de rendimento, semelhantes à Norma Internacional citada.

Os motores da linha de alto rendimento lançados no mercado interno pelos maiores fabricantes nacionais de motores elétricos são, em média, 35 a 50 % mais caros que os da linha padrão, fato este que deve ser considerado no estudo de viabilidade para a substituição de tecnologias (SOARES; HERSZTERG; TABOSA, 1997).

Estudos mostram que, quando comparado ao motor padrão, o motor de alto rendimento pode apresentar um rendimento superior, da ordem de 2 a 6 %, sendo este aumento devido a menor quantidade de perdas, para a mesma potência mecânica (MOREIRA et al, 1998).

Atualmente, no mercado nacional, os motores de alto rendimento estão disponíveis nas potências de 1 a 250 cv, sendo que algumas empresas fabricam sob encomenda, motores de potências maiores.

A decisão em se escolher motores mais caros com custos de operação mais baixos e motores mais baratos com maior consumo de energia pode ser baseado em um critério financeiro de retorno do capital. Este critério, considera como principal parâmetro, o número de horas por ano de funcionamento do motor.

Porém, deve-se salientar que não existe vantagem nenhuma em adquirir um motor de alto rendimento e acoplá-lo a um equipamento ineficiente ou trabalhar sobredimensionado, provocando maiores gastos com energia, tendência esta muito comum, propositalmente ou por desconhecimento, sob a alegação de se manter uma potência reserva que poderia aumentar a confiabilidade do acionamento (KREUTZFELD, 1988).

Porém, o sobredimensionamento do motor de indução, causa variações no fator de potência e no rendimento, devido à variação em seu carregamento, como mostra a Figura 3.5 (TUPIASSÚ; BRANCO, 2002):

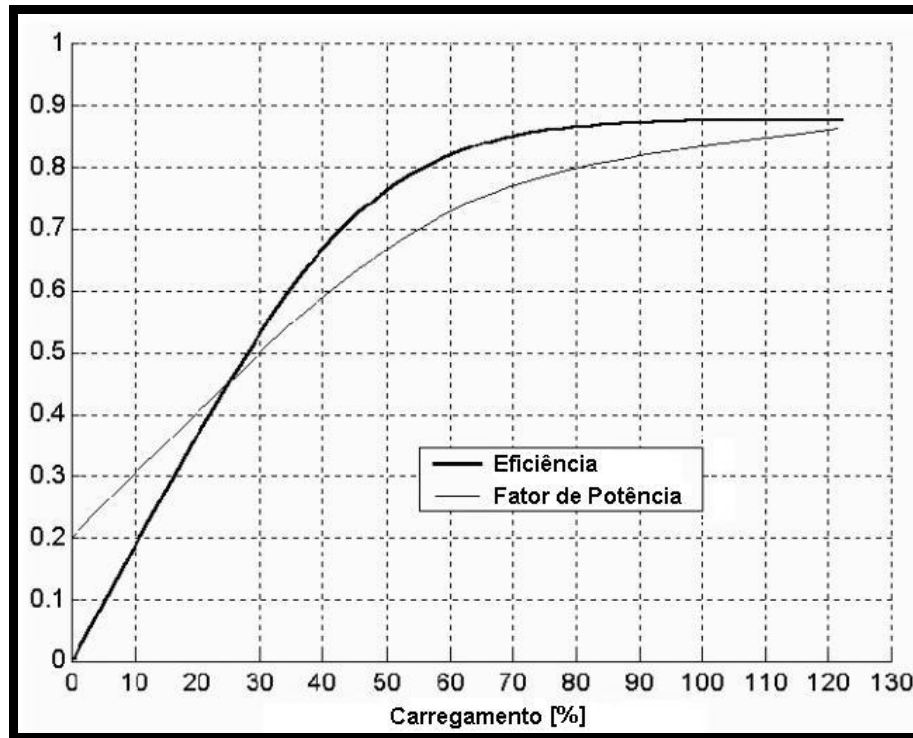


Figura 3.5. Variações típicas na eficiência e no fator de potência dos motores de indução (TUPIASSÚ; BRANCO, 2002)

Dentre os vários motivos de um sobredimensionamento, pode-se citar o desconhecimento das características da própria carga, desconhecimento de métodos para determinação de suas características, expectativa de aumento do carregamento, desconhecimento de motores com fator de serviço, substituições de motores danificados por outros de potências maiores, devido à inexistência de motores de mesma potência, e pela redução do nível de produção (RAMOS; PENTEADO, 2002).

3.6.1. CARACTERÍSTICAS

O motor de alto rendimento se caracteriza por ser um equipamento conversor de energia que possui certas melhorias em relação ao motor padrão, principalmente onde se concentram a maioria das perdas (HIGH..., 1994).

As principais melhorias encontradas em um motor de alto rendimento são apresentadas na Figura 3.6, de acordo com a WEG (MOTORES..., 2003).

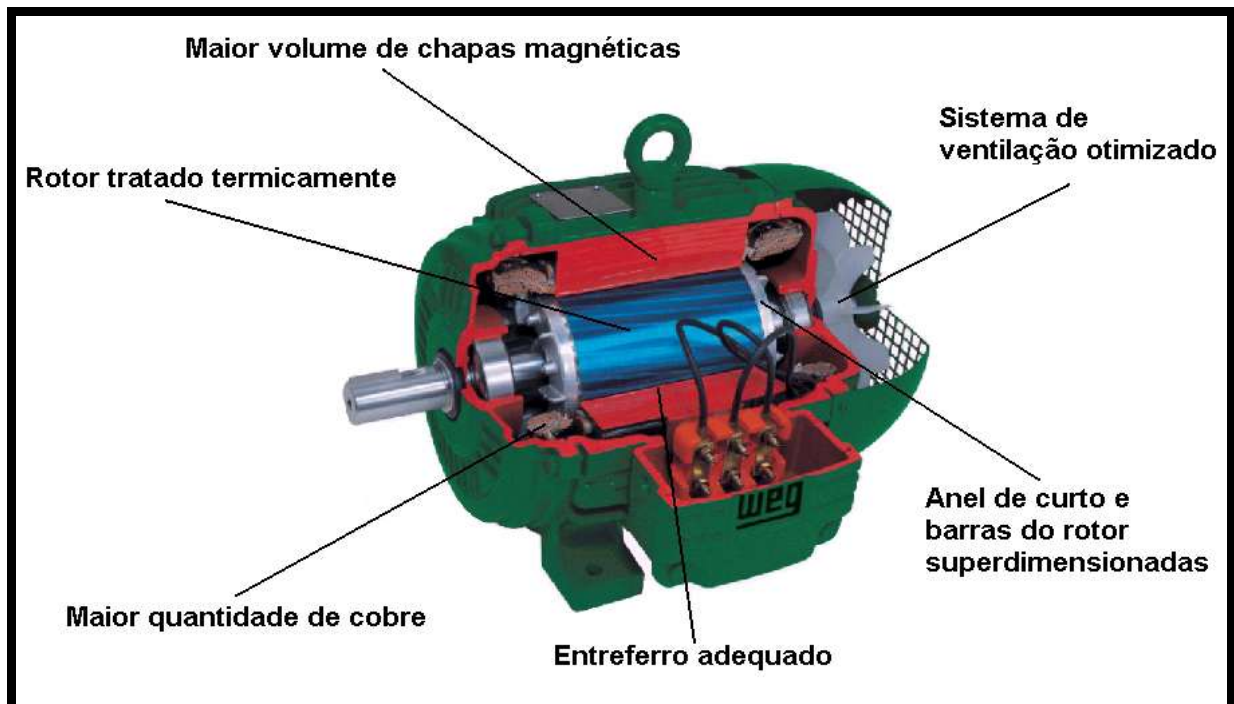


Figura 3.6. Principais melhorias em um motor de alto rendimento (MOTORES..., 2003)

As perdas Joule no estator podem ser reduzidas, diminuindo-se a resistência ôhmica, através do aumento da seção dos condutores. As perdas Joule no rotor, podem ser diminuídas, aumentando-se as gaiolas condutoras.

As perdas no ferro podem ser amenizadas em consequência do uso de aços de baixas perdas magnéticas, além de um maior volume de material, responsável pela redução das densidades de fluxo magnético.

As perdas mecânicas podem ser reduzidas através da otimização dos ventiladores e emprego de rolamentos adequados.

Por fim, temos as perdas suplementares, que podem ser minimizadas através de melhorias no processo de fabricação e otimização das ranhuras, do entreferro e dos enrolamentos, reduzindo, desta forma, as dispersões magnéticas.

3.6.2. VENDAS POR LINHA DE PRODUTOS

No Brasil, a aquisição de motores elétricos de indução trifásicos está dividida segundo a Figura 3.7 (WEG, 2004):

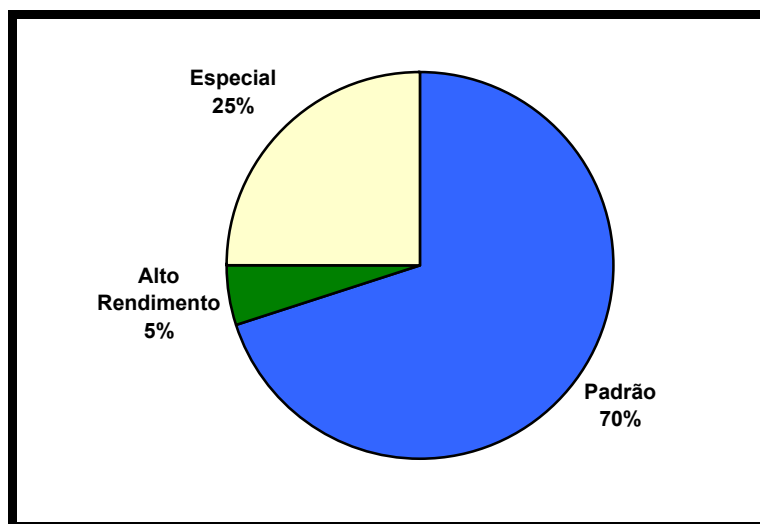


Figura 3.7. Motores de indução trifásicos – Vendas por linha de produtos (WEG, 2004)

Através do chamado plano de troca, empresas nacionais compram o motor antigo por 10% do valor de um motor novo, quando este for substituído por um motor de alto rendimento. A Figura 3.8 mostra a quantidade de motores enviados para reciclagem através do plano de troca (WEG, 2004):

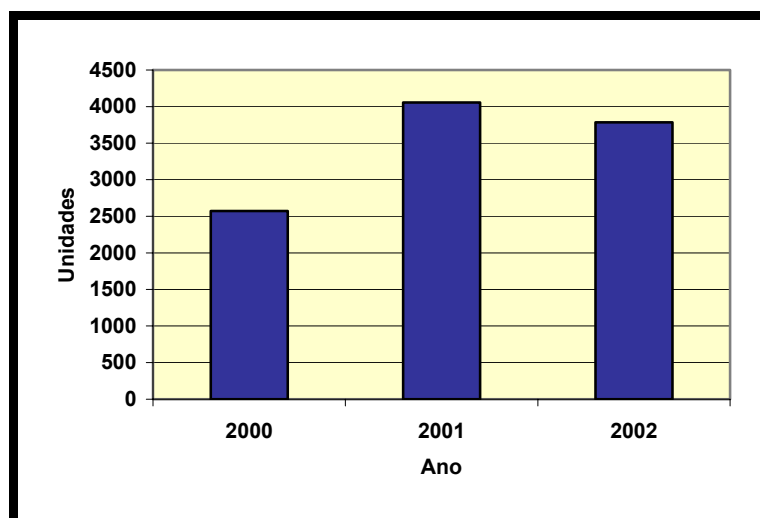


Figura 3.8. Motores enviados para reciclagem através do plano de troca (WEG, 2004)

A Figura 3.9 apresenta a quantidade de motores de alto rendimento vendidos no mercado interno, segundo WEG (2004):

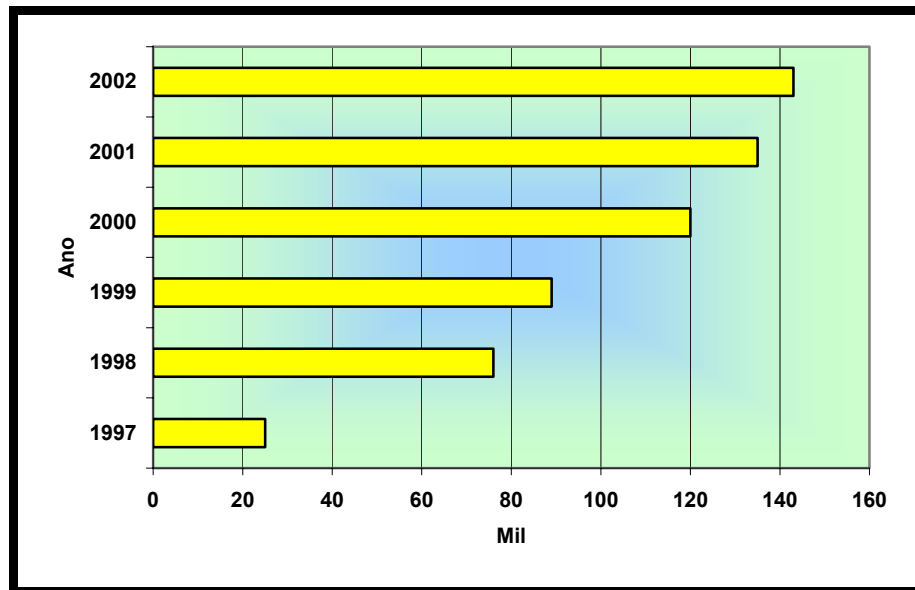


Figura 3.9. Quantidade de motores de alto rendimento vendidos no Brasil (WEG, 2004)

3.7. MÉTODOS DE PARTIDA

Durante a partida, os motores elétricos solicitam uma corrente elevada do sistema de alimentação, muitas vezes da ordem de 6 a 10 vezes a sua corrente nominal de funcionamento (MAMEDE, 1997).

Na prática, deseja-se acionar uma carga, limitando-se a corrente de partida, evitando distúrbios na rede elétrica.

Desta maneira, a escolha de um sistema de partida adequado, pode trazer benefícios como vida útil prolongada do motor e redução de custos de operação e manutenção.

Os principais tipos de partida serão detalhados a seguir:

3.7.1. PARTIDA DIRETA

Método de partida onde o motor é alimentado diretamente através da rede elétrica.

A partida direta deve ser feita por meio de contatores, levando-se em conta que as curvas de conjugado e corrente para um determinado motor são fixas, para uma tensão constante.

Segundo a NBR 7094 (1996), um motor categoria N deve permitir a frio duas partidas consecutivas e mais uma partida a quente, estando nas condições nominais de funcionamento.

Porém, uma elevada corrente de partida pode trazer conseqüências prejudiciais como uma acentuada queda de tensão no sistema de alimentação, impedindo o correto funcionamento de equipamentos que estejam interligados ao sistema.

A Figura 3.10 apresenta a corrente e o conjugado de partida em relação a rotação do motor (WORKSHOP..., 2004):

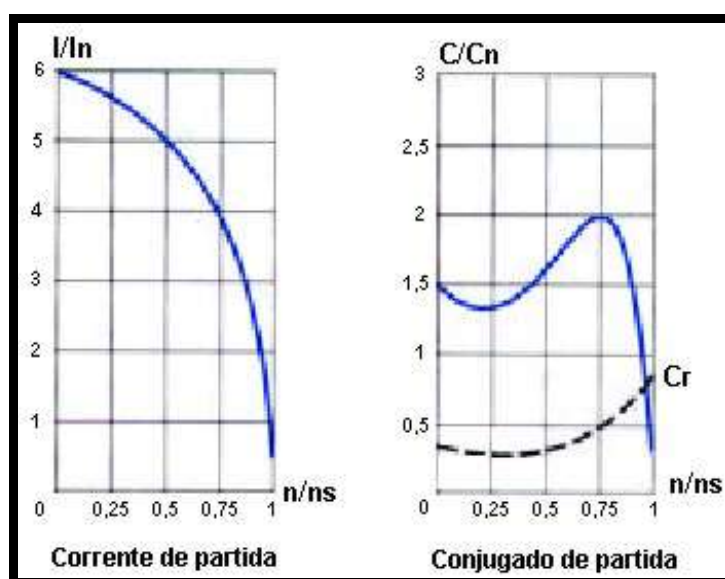


Figura 3.10. Corrente e conjugado de partida em relação à rotação do motor (WORKSHOP..., 2004)

A Figura 3.11 apresenta as curvas de conjugado em função da rotação para as principais categorias de motores (WEG, 2004):

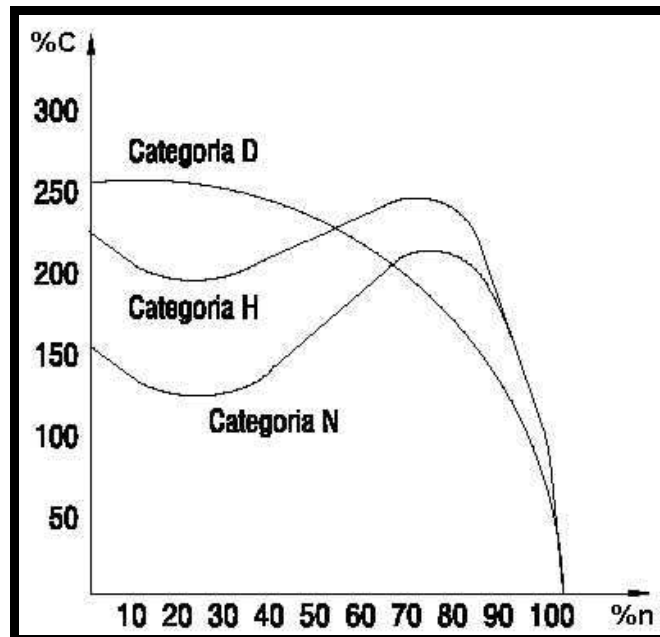


Figura 3.11. Curvas de conjugado em função da rotação (WEG, 2004)

3.7.2. CHAVE ESTRELA - TRIÂNGULO

A chave estrela - triângulo é utilizada para amenizar os efeitos da partida de motores elétricos no sistema de alimentação.

Durante a partida, a corrente e o conjugado do motor ficam reduzidos a 1/3 de seus valores nominais, de forma que este sistema poderá ser utilizado, somente em casos onde o conjugado do motor em estrela, for maior que o conjugado da carga, no eixo do motor.

Para a utilização da chave estrela - triângulo, é necessário que o motor possua dupla tensão nominal (6 terminais).

A partida se inicia em estrela, sendo que a comutação para triângulo deve ser feita somente quando o motor estiver próximo a velocidade de regime. Muitas vezes,

a comutação pode provocar uma certa elevação da corrente, caso venha a ser antecipada em relação ao ponto ideal.

Como vantagens, pode-se citar o baixo custo, elevado número de manobras e dimensões reduzidas. A Figura 3.12 apresenta a corrente e o conjugado de partida em relação a rotação do motor (WORKSHOP..., 2004).

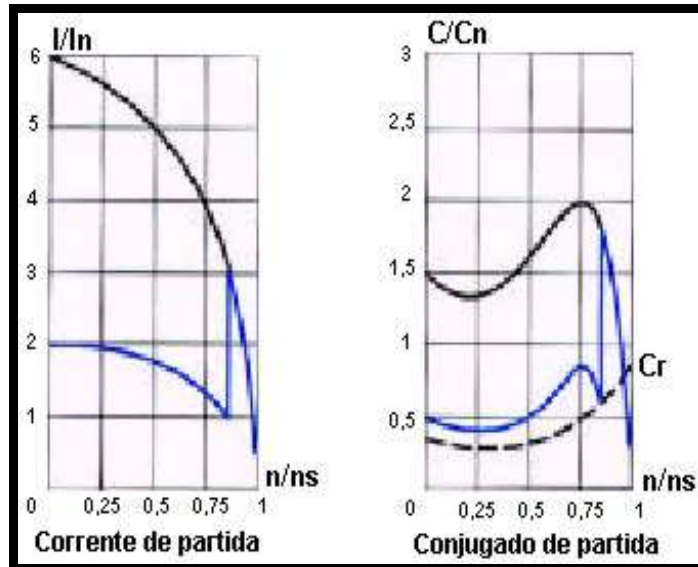


Figura 3.12. Corrente e conjugado de partida em relação a rotação do motor (WORKSHOP..., 2004)

3.7.3. CHAVE COMPENSADORA

A chave compensadora pode ser utilizada para acionar motores elétricos sob carga, com uma reduzida corrente de partida, evitando sobrecargas no sistema elétrico de alimentação.

Através da seleção adequada das derivações de 50, 65 e 80% da tensão nominal do autotransformador, obtém-se um conjugado suficiente para a partida e aceleração do conjunto.

Durante a partida, um contator aciona o autotransformador ligado em estrela.

Após a aceleração, o motor é conectado diretamente a rede de alimentação.

A comutação não acarreta a elevação da corrente, devido ao autotransformador se comportar como uma reatância indutiva, não permitindo o aumento da mesma.

É possível se determinar os valores da corrente e conjugado de partida, multiplicando-os pelos fatores k_1 e k_2 , disponíveis na Figura 3.13 (WEG, 2004):

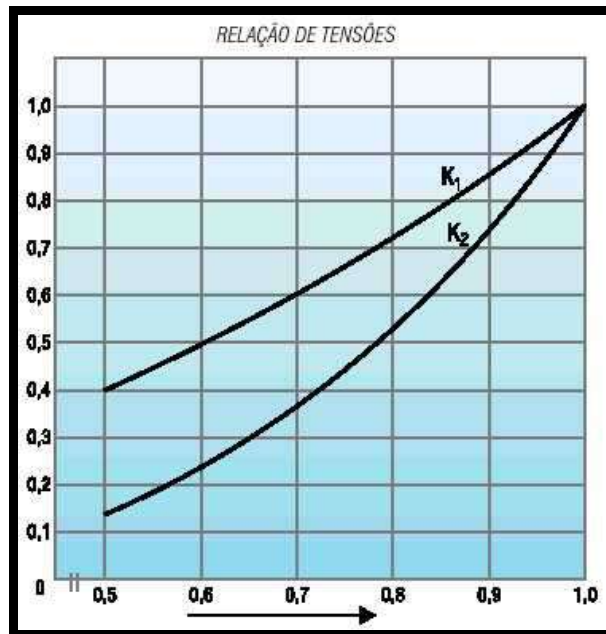


Figura 3.13. Determinação dos valores de corrente e conjugado de partida (WEG, 2004)

$$\left(\frac{I_p}{I_n}\right)_{\%V} = k_1 \cdot \left(\frac{I_p}{I_n}\right)_{100\%V} \quad (3.5)$$

$$\left(\frac{C}{C_n}\right)_{\%V} = k_2 \cdot \left(\frac{C}{C_n}\right)_{100\%V} \quad (3.6)$$

Onde:

%V = porcentagem da tensão nominal (derivações).

100% V = tensão nominal.

I_p = corrente de partida [A].

I_n = corrente nominal [A].

C = conjugado [N.m].

C_n = conjugado nominal [N.m].

A Figura 3.14 apresenta a corrente e o conjugado de partida em relação a rotação do motor para a chave compensadora (WORKSHOP..., 2004):

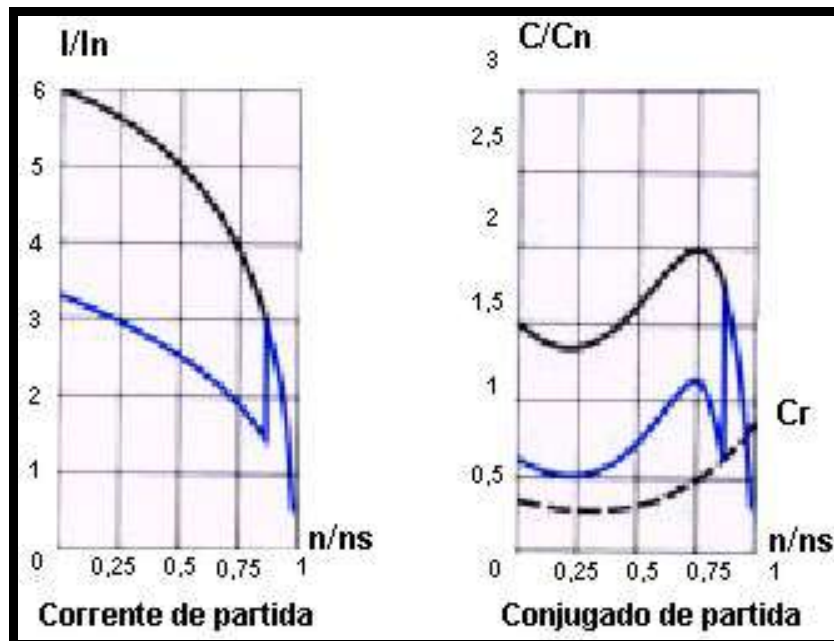


Figura 3.14. Corrente e conjugado de partida em relação a rotação do motor (WORKSHOP..., 2004)

3.7.4. CONVERSOR DE FREQUÊNCIA

A utilização de conversores de frequência para acionamentos industriais tem aumentado significativamente nos últimos anos, devido ao fato de proporcionarem facilidade de controle e economia de energia.

O conversor de frequência é capaz de partir grandes motores com carga acoplada ao eixo, sem quedas de tensão e correntes elevadas, podendo ser utilizado também em processos que necessitam de variação de velocidade ou que possuam variados tipos de carga.

Os conversores são divididos em dois grupos, de acordo com o tipo de controle utilizado: o escalar e o vetorial.

Conversores com controle escalar, impõem no motor uma determinada tensão e frequência, visando manter constante a relação “tensão / frequência”, responsável por manter a capacidade de torque do motor.

Conversores com controle vetorial possuem alta precisão de controle de velocidade e torque do motor. Possuem também, um controle independente do torque e do fluxo magnético, através da decomposição vetorial da corrente do motor.

A Figura 3.15 apresenta o esquema básico de um conversor de frequência (MAMEDE, 1997).

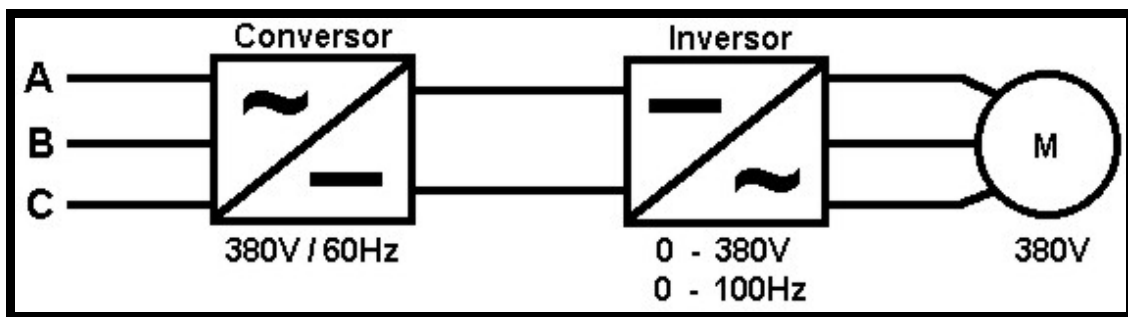


Figura 3.15. Esquema básico de um conversor de frequência (MAMEDE, 1997)

3.7.5. SOFT-STARTER

O Soft - Starter é uma chave de partida a estado sólido microprocessada, que controla o ângulo de disparo de um conjunto de pares de tiristores, aplicando uma tensão variável nos terminais do motor durante a sua aceleração.

A chave eletrônica não possui partes móveis como as chaves mecânicas, tendo uma vida mais longa. Controla a aceleração, desaceleração e protege o motor, controlando suas características de funcionamento, possuindo também, um relé térmico eletrônico incorporado.

A Figura 3.16 apresenta o conjugado de partida em relação a rotação do motor (WORKSHOP..., 2004):

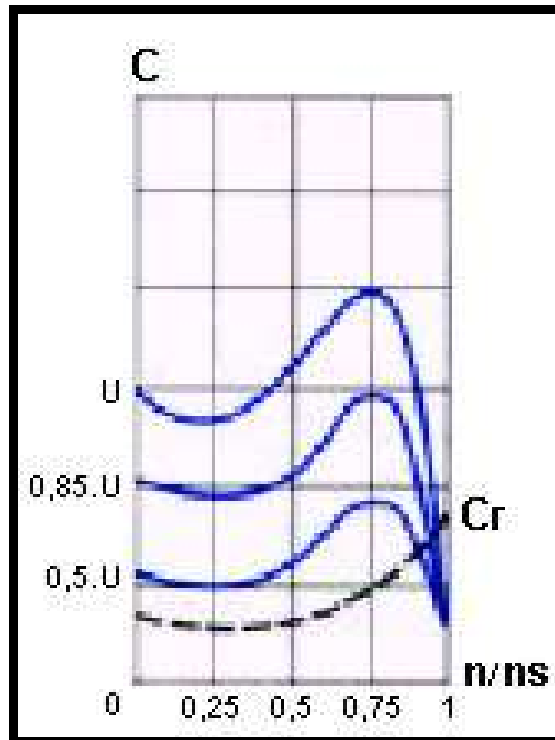


Figura 3.16. Conjugado de partida em relação a rotação do motor (WORKSHOP..., 2004)

3.8. CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

3.8.1. ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA

As perdas no motor elétrico podem ser representadas pela diferença entre a potência de entrada e a potência realmente utilizada para realizar trabalho.

A dissipação de calor no motor é feita através da carcaça para o ar ambiente. No caso de motores fechados, essa dissipação é feita através de um ventilador conectado ao eixo do motor. Porém, para que uma boa ventilação seja efetuada, é necessário que o motor possua um bom projeto de ventilação, capaz de movimentar um grande volume de ar, trocando calor de sua superfície com o ar ambiente.

Um sistema eficiente de resfriamento é aquele que dissipa uma maior quantidade de calor, em uma menor área de dissipação.

A Figura 3.17 apresenta o percentual de redução de potência em um motor elétrico em função da temperatura ambiente (NBR 7094, 1996):

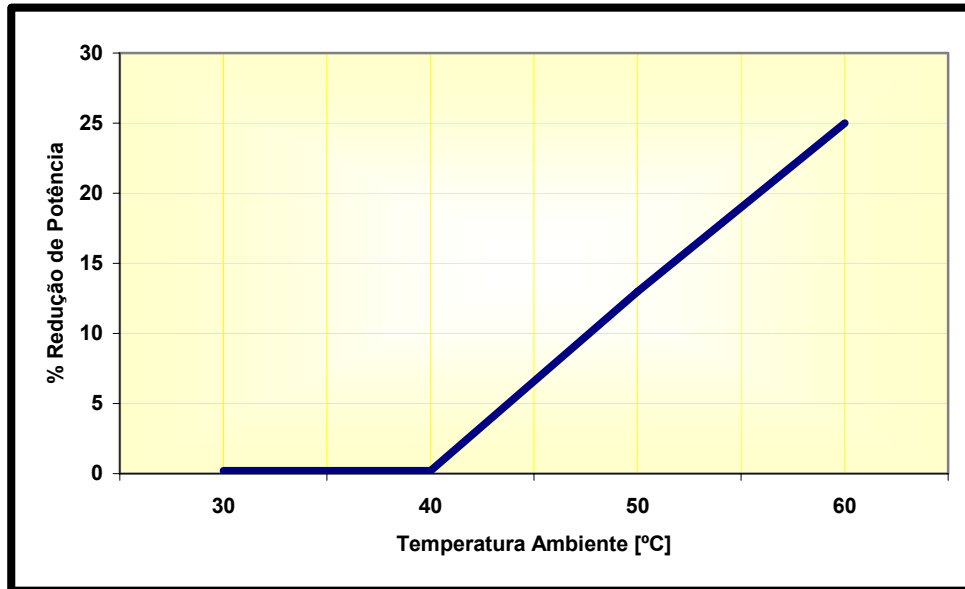


Figura 3.17. Percentual de redução de potência em função da temperatura ambiente (NBR 7094, 1996)

3.8.2. CLASSES DE ISOLAÇÃO

O limite de cada classe de isolamento empregado em enrolamentos de motores elétricos, depende do material que está sendo utilizado.

Segundo a NBR 7094 (1996), os materiais isolantes são agrupados em classes de temperatura, cada uma definida pelo valor da temperatura limite.

As respectivas classes de temperatura são apresentadas na Figura 3.18 (NBR 7094, 1996):

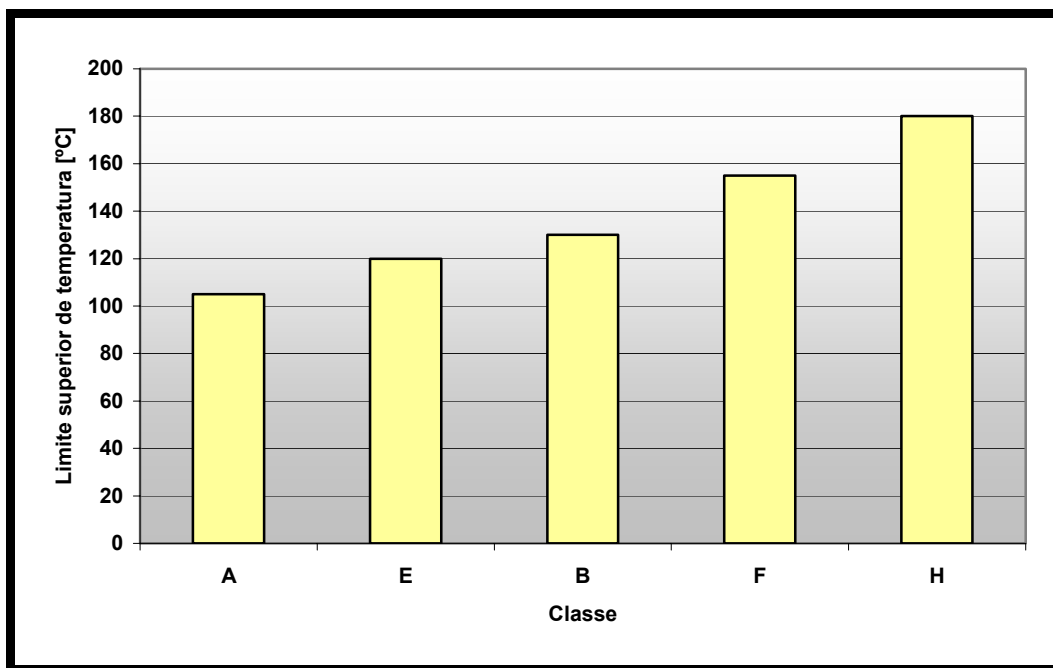


Figura 3.18. Classes de temperatura (NBR 7094, 1996)

3.8.3. VIDA ÚTIL

A vida útil do motor elétrico depende das condições da isolação, fator este extremamente afetado pela temperatura, umidade e corrosão.

Alguns estudos demonstram que um aumento de 8 a 10 graus acima da temperatura máxima permissível é suficiente para reduzir a vida útil do motor pela metade (WEG, 2003) (ELETROBRÁS, 2003).

Em termos de temperatura de regime permanente, a vida útil da isolação do motor elétrico vai se findando, quando existe um envelhecimento gradual e um conseqüente ressecamento do material, fazendo com que este perca suas propriedades isolantes e não suporte mais a tensão aplicada, produzindo um curto circuito e queima do motor.

A verificação da temperatura do enrolamento de um motor elétrico pode ser feita através de termopares. Porém, existe uma incerteza se o ponto escolhido para a medição se encontra próximo ou não do ponto de maior aquecimento do motor.

Existem metodologias de medição de temperatura de motores elétricos mais precisas, que são realizadas somente em ensaios de motores, onde se consegue determinar a temperatura do enrolamento através da medição de sua resistência elétrica, antes e após o seu funcionamento.

3.9. QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

Em todas as áreas, muito se discute sobre qualidade de energia elétrica.

Esta pode ser definida em função de quatro perturbações elétricas em um sinal de tensão ou de corrente, em uma instalação elétrica (MIGUEL, 1999):

- Perturbações na amplitude da tensão.
- Perturbações na frequência do sinal.
- Desequilíbrios de tensão ou de corrente em sistemas trifásicos.
- Perturbações na forma de onda do sinal.

Para a concessionária, é muito importante a ausência de variações de tensão, bem como de desligamentos.

Para o consumidor, a qualidade de energia elétrica está relacionada à ausência relativa de variações de tensão no ponto de entrega de energia (ALVES, 1996).

Muitas vezes, as perturbações podem estar sendo causadas pelo próprio consumidor, através da utilização de equipamentos com tecnologia moderna ou por cargas não lineares, que possuem funcionamento baseado em eletrônica de potência.

A partir da década de 90, com o aumento da utilização de equipamentos eletrônicos, nos setores residencial, comercial e industrial, a situação tornou-se ainda mais grave.

Na medida que estes equipamentos exigem uma rede elétrica de boa qualidade para seu correto funcionamento, também são os principais causadores de perturbações.

3.9.1. PERTURBAÇÕES ELÉTRICAS

3.9.1.1. AMPLITUDE DA TENSÃO

A variação na amplitude da tensão ocorre quando sobre um sinal senoidal produz-se:

- Afundamentos ou elevações momentâneas de tensão.
- Sobretensão e subtensão.
- Interrupções de tensão.
- Flutuações de tensão.
- Cintilações.

3.9.1.2. AFUNDAMENTO DE TENSÃO

Afundamentos de tensão, ou “sags”, são caracterizados por uma diminuição no valor da amplitude, de forma brusca, entre 0,1 a 0,9 p.u., restabelecendo-se após um curto período de tempo.

Em alguns países, tem-se buscado melhorar o fornecimento de energia, através de programas essenciais para a redução do número e duração de interrupções sofridas pelos consumidores.

O tempo de afundamento de tensão está compreendido entre 0,5 e 30 ciclos (MARTINON; POISSON; CHATEAUVIEUX, 2000) e pode ser ocasionado por

elevações bruscas de corrente, seja por curto circuito, partida de motores de grande porte ou comutação de cargas com elevada potência.

Equipamentos modernos utilizados em instalações industriais são extremamente sensíveis aos afundamentos de tensão, uma vez que podem deixar de exercer corretamente suas funções.

3.9.1.3. ELEVAÇÃO MOMENTÂNEA DE TENSÃO

De curta duração e apresentando um forte amortecimento em sua forma de onda, as elevações momentâneas de tensão são causadas pela comutação de bancos de capacitores, conexões e desconexões de equipamentos, operação de retificadores controlados, variadores de velocidade, atuação de dispositivos de proteção, descargas atmosféricas, entre outros.

Para ser considerada elevação momentânea de tensão, o valor da sobretensão transitória, ou “swell”, deve estar na faixa de 1,1 a 1,8 p.u.

Dentro de certos limites, os motores elétricos podem suportar impulsos transitórios de tensão, porém, dependendo da intensidade e quantidade dos eventos, sua vida útil pode ser afetada.

Equipamentos com eletrônica de potência e fontes de alimentação de computadores são bem mais sensíveis que o motor, podendo ser danificados em sua totalidade.

3.9.1.4. SOBRETENSÃO E SUBTENSÃO

Definida como sendo uma perturbação de tensão, com valor eficaz superior ao valor de tensão nominal (10%), a sobretensão pode ser de curta ou longa duração.

Muitas vezes, as de curta duração possuem intensidade bem superior às de longa duração (MIGUEL, 1999).

A sobretensão pode ocorrer devido a entrada em operação de grupos geradores ou rejeição de cargas com elevada potência.

Já a subtensão, pode ocorrer em instalações que possuam circuitos em sobrecarga, ocasionando, por exemplo, perda de conjugado em motores elétricos.

3.9.1.5. FREQUÊNCIA DO SINAL

Perturbações de frequência variam em torno do valor nominal, sendo geralmente, causadas por problemas em sistemas de geração e transmissão de energia elétrica, bem como sistemas que possuam grupos geradores. (MIGUEL, 1999).

3.9.1.6. DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO

São produzidos devido à existência de diferenças significativas entre valores eficazes das tensões ou correntes presentes em um sistema trifásico.

Geralmente, tal ocorrência pode ser devido à abertura de uma das fases do sistema de alimentação trifásico, bem como cargas monofásicas desigualmente distribuídas.

Observa-se que a presença de tensões ligeiramente desbalanceadas pode provocar alterações nas características de desempenho dos motores elétricos de indução trifásicos, devido a produção de correntes fortemente desequilibradas, conforme apresenta a Figura 3.19 (MOREIRA et al, 1998).

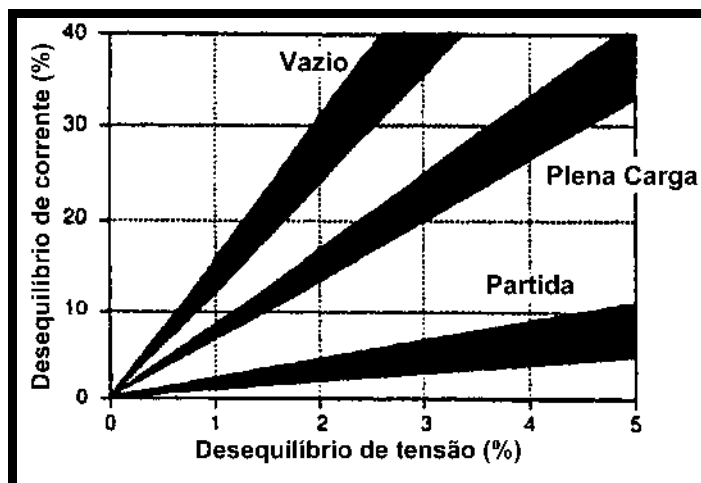


Figura 3.19. Desequilíbrio de corrente em função do desequilíbrio de tensão

Devido aos desequilíbrios de tensão, o motor elétrico pode sofrer acréscimo das perdas e desequilíbrio das correntes de linha, redução dos valores de conjugado, redução do rendimento e aumento dos níveis de ruído e vibração, podendo ser considerado uma das causas da queima deste tipo de máquina.

Pode-se analisar a operação de um motor de indução trifásico submetido a tensões desbalanceadas através do método das componentes simétricas, onde as tensões de cada seqüência atuam independentemente, tendo seus efeitos adicionados segundo o princípio da superposição.

As tensões de seqüência positiva e negativa estão relacionadas a escorregamentos diferentes, devido ao sentido do campo girante em cada seqüência.

Desta maneira, o motor pode ser representado por dois circuitos equivalentes, um de seqüência positiva e outro de seqüência negativa. A componente de seqüência zero é nula para sistemas sem neutro, como no caso de motores de indução trifásicos.

Sendo assim, é importante a determinação do valor do Grau de Desequilíbrio de Tensão (GDT), um dos fatores relacionados à qualidade da tensão da rede elétrica, fornecida pela concessionária.

Este valor pode ser determinado através da equação 3.7 (STEVENSON JR, 1962):

$$GDT(\%) = \frac{U_{AB2}}{U_{AB1}} \cdot 100 \quad (3.7)$$

Onde:

U_{AB1} = valor da componente simétrica de tensão, de seqüência positiva.

U_{AB2} = valor da componente simétrica de tensão, de seqüência negativa.

De acordo com a NBR 7094 (1996), um sistema pode ser considerado equilibrado quando a componente de seqüência zero não exceder a 1% da componente de seqüência positiva e também se a componente de seqüência negativa não exceder 1% da componente de seqüência positiva por um período prolongado, ou a 1,5%, durante um curto período (apenas alguns minutos).

Na prática, o grau de desequilíbrio de tensão pode ser calculado de maneira mais simples, segundo Lamoglia (1993):

$$\text{Desequilíbrio de tensão} = \frac{\text{Máximo valor da tensão} - \text{Valor médio das tensões}}{\text{Valor médio das tensões}} \cdot 100 \quad (3.8)$$

3.9.2. HARMÔNICAS

As perturbações ocasionadas por harmônicas tornaram-se importantes na década de 80, quando se iniciou a substituição de equipamentos elétricos e eletromecânicos por equipamentos eletrônicos.

As cargas chamadas lineares, como motores elétricos e iluminação incandescente, possuem corrente proporcional a tensão, ou seja, senoidais, mesmo estando defasadas ou não, em função de sua natureza: resistiva, indutiva ou capacitiva.

Nas cargas não lineares, essa proporcionalidade não existe, pois pode-se conduzir corrente durante apenas uma parte do ciclo, e mesmo que a tensão seja senoidal, a corrente não será.

As correntes harmônicas são responsáveis por elevar a temperatura dos condutores, dos rotores de motores elétricos, e também provocarem sobretensões em locais onde estão instalados capacitores, através do efeito de ressonância.

Estas correntes geradas são somadas vetorialmente com as correntes originadas pelas cargas residenciais, industriais, entre outras, que lentamente estão adquirindo valores significativos, devido a utilização cada vez maior de equipamentos eletrônicos.

Chama-se ordem de uma harmônica, um número inteiro obtido pelo quociente da frequência dessa harmônica, pela frequência da componente fundamental (EDMINISTER, 1971):

$$h = \frac{f_h}{f_1} \quad (3.9)$$

Onde:

h = ordem harmônica.

f_h = frequência harmônica de ordem h [Hz].

f_1 = frequência da fundamental [Hz].

As harmônicas podem ser classificadas segundo a sua ordem, frequência e seqüência, conforme a Tabela 3.1 (MIGUEL, 1999):

Tabela 3.1 – Classificação das harmônicas

Ordem	Frequência [Hz]	Seqüência
1	60	+
2	120	-
3	180	0
4	240	+
5	300	-
6	360	0
h	h.60	

A situação desejada seria aquela com a existência de somente a harmônica de ordem 1, com 60 Hz, chamada de fundamental (MIGUEL, 1999).

Pode-se observar a existência de harmônicas de ordem ímpares, encontradas em instalações elétricas em geral, e de ordem pares, encontradas somente em casos de assimetrias.

As seqüências podem ser positiva, negativa ou nula. No caso de motores elétricos, as harmônicas de seqüência positiva superiores a fundamental, tendem a girá-lo em velocidade superior à nominal, provocando aquecimento devido à sobrecorrentes, reduzindo sua vida útil. As de seqüência negativa, tendem a girá-lo no sentido inverso ao do campo girante provocado pela fundamental, produzindo ação de frenagem, reduzindo o conjugado e provocando também aquecimentos indesejáveis. As harmônicas de seqüência zero, somam-se de forma algébrica em circuitos com a presença de condutor neutro, provocando correntes elevadas, algumas vezes superiores aos valores das correntes de fase (NBR 5410, 1997).

As harmônicas são expressas em termos de seu valor eficaz, pois o aquecimento produzido pela onda distorcida está relacionado ao mesmo.

Para uma onda senoidal pura, o valor eficaz é igual ao valor máximo dividido por raiz quadrada de dois. Para uma forma de onda distorcida, sob condições de regime permanente, a energia total dissipada por efeito Joule é a soma das energias dissipadas pelas componentes harmônicas.

3.9.2.1. HARMÔNICAS E MOTORES ELÉTRICOS

O desenvolvimento da eletrônica de potência trouxe novas possibilidades de utilização de máquinas elétricas, sendo possível com essa tecnologia, controlar com precisão o fluxo de energia elétrica, aumentando o desempenho eletromecânico de motores, tornando-se uma opção eficiente em termos de conservação de energia.

Porém, as harmônicas geradas na tensão de alimentação, afetam a dinâmica de magnetização do núcleo das máquinas, provocando o aumento das perdas magnéticas.

Harmônicas de quinta ordem produzem um conjugado de sentido oposto ao de rotação do motor, reduzindo o conjugado resultante e a capacidade de acionamento da carga mecânica. Neste caso, ocorre um acréscimo na corrente de alimentação, podendo ocasionar a queima do motor, uma vez que o aumento das perdas Joule no estator, provocam a estabilização da temperatura em um valor superior a classe térmica do enrolamento.

A Figura 3.20 apresenta o fator de redução do conjugado em função do fator de harmônicas de tensão, para o caso em que o motor de indução é alimentado por um conversor de frequência (RAMOS, 2002):

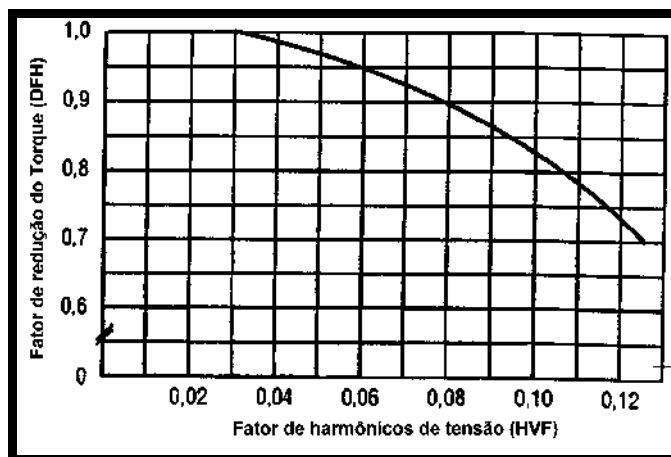


Figura 3.20. Fator de redução de conjugado em função do fator de harmônicas de tensão

O fator de harmônicas de tensão é definido por (NBR 7094, 1996):

$$HVF = \sqrt{\sum_{h=5}^{\infty} \frac{U_h^2}{h}} \quad (3.10)$$

Onde:

HVF = fator de harmônicas de tensão.

h = ordem das harmônicas ímpares, não incluindo as divisíveis por 3.

U_h = tensão da enésima harmônica em p.u.

Segundo a NBR 7094 (1996), seu valor não deve ser superior a 0,015. Caso contrário, o rendimento do motor de indução, quando alimentado por um conversor de frequência, diminui em função das perdas causadas pelas correntes harmônicas. O novo rendimento do motor poderá ser calculado em função do fator de redução de conjugado, através da expressão 3.11 (NEMA, 1998):

$$\eta_{cf} = \frac{FRC^2}{\frac{1}{\eta} + FRC^2 - 1} \quad (3.11)$$

Onde:

η_{cf} = rendimento do motor alimentado pelo conversor de frequência.

η = rendimento nominal do motor alimentado por tensão senoidal sem conteúdo harmônico.

FRC = fator de redução de conjugado.

CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA

4.1. INTRODUÇÃO

A metodologia adotada para a substituição de motores incluiu um estudo preliminar, através de medições das grandezas elétricas, utilizando-se analisadores de potência e qualidade de energia Fluke 41B e Fluke 43B, ambos monofásicos.

Com estes equipamentos, obteve-se valores de grandezas como tensão, corrente, potência ativa, reativa, aparente, fator de potência e harmônicas.

Todas as cargas medidas eram equilibradas, de modo que, multiplicou-se o valor da potência encontrada por três, obtendo-se o equivalente trifásico. Os modelos também calculam a potência trifásica, quando necessário.

Para acionamentos com carga constante, mediu-se o valor da potência ativa e para acionamentos com carga variável, utilizou-se o valor médio da potência ativa, durante um ciclo de funcionamento.

Os aparelhos possuem características de segurança Categoria III, de 600 V rms, e estão em conformidade com a ANSI/ISA – S82.01-94, CAN C22.2 N.1010.1-92 e EN 61010-1-93.

Dentre as inúmeras funções, destacam-se a medição de afundamentos de tensão (“Sags”), sobretensões momentâneas (“Swells”), transientes e correntes de partida (“Inrush”).

A Figura 4.1 apresenta os equipamentos Fluke utilizados:



Figura 4.1. Equipamentos de medição utilizados

Dentre as várias grandezas medidas, as principais foram a potência ativa e o fator de potência.

Em seguida, com o Programa BD Motor (2003), verificou-se as condições de operação do motor, tendo como dados de entrada, a potência ativa medida, e de saída, a potência mecânica exigida pela máquina e o respectivo carregamento.

O software para viabilizar economia de energia em motores de indução trifásicos, foi criado pelo CEPEL - Centro de Pesquisas em Energia Elétrica, da ELETROBRÁS, possuindo um banco de dados com características de 1989 motores, das marcas Weg, Kohlbach e Eberle, com tensões de 220, 380, 440 V e potências de 0,25 a 250 cv.

Para cada unidade, o programa fornece dados técnicos, preço e prazo de garantia do fabricante. A tela inicial é apresentada na Figura 4.2:



Figura 4.2. Programa de simulação BD Motor (BD MOTOR, 2003)

Por comparação, verifica-se a relação custo - benefício entre dois motores, sendo um deles o motor novo, e o outro, um motor em uso ou a reparar. Pode-se também comparar dois motores novos, por exemplo, um motor padrão e um motor de alto rendimento, de mesma potência ou potências diferentes.

O capital a ser investido refere-se a diferença entre os preços de aquisição. Para o motor em uso, o custo é o valor do motor novo, e para o motor a reparar, o custo é a diferença do motor novo e o valor do reparo.

Como benefício, tem-se a diminuição no consumo de energia elétrica, considerando um valor médio da tarifa de energia e um período de funcionamento sob carga constante.

Pela informação da intensidade de corrente, rotação ou potência elétrica, tem-se como resposta a condição de carregamento do motor, dado este que auxilia nos estudos de redimensionamento motriz.

Para motores com elevado tempo de uso, o programa oferece a opção de perda de eficiência, em função da rebobinagem e qualidade dos serviços de

manutenção (HADDAD *et al.*, 2000) (SOARES; HERSZTERG; TABOSA, 1997) (BD MOTOR, 2003).

Carregamentos superiores a 75% são considerados bem dimensionados pelo programa BD Motor. Portanto, neste caso, selecionou-se um motor de mesma potência, porém alto rendimento.

Para motores com carregamento abaixo deste valor, utilizou-se o estudo de redimensionamento motriz, para verificar se o mesmo teria conjugado suficiente para acionar a máquina até sua velocidade de funcionamento, num tempo inferior ao de rotor bloqueado.

Com o BD Motor, foi possível selecionar, para o mesmo acionamento mecânico, motores com menores potências nominais, tendo como resultado, menor potência elétrica necessária e elevado carregamento.

Desta maneira, foram realizadas muitas simulações e, após a substituição dos motores, medições foram efetuadas para comparação com os valores inicialmente previstos.

Para os casos de redimensionamento motriz (30% do total), uma metodologia de cálculo foi adotada para se obter o tempo de aceleração.

Estas etapas, serão apresentadas a seguir.

4.2. Motor originalmente instalado

4.2.1. *Cálculo do Conjugado Nominal* (LOBOSCO; DIAS, 1988):

$$P = Cn.\omega \tag{4.1}$$

$$\omega = \frac{2.\pi.n}{60} \quad (4.2)$$

Onde:

P = potência mecânica de saída [W].

C_n = conjugado nominal [N.m] ou [kgfm].

ω = velocidade angular [rad/s].

n = rotação [rpm].

4.2.2. Verificação do conjugado exigido pela carga

O conjugado exigido pela carga pode ser determinado pelas seguintes equações (LOBOSCO; DIAS, 1988):

$$P_{carga} = C_{carga} \cdot n_{funcionamento} \quad (4.3)$$

$$C_{carga} = \frac{P_{carga} \cdot 1000 \cdot 60}{2.\pi.n} \quad (4.4)$$

Onde:

P_{carga} = potência mecânica [kW].

C_{carga} = conjugado exigido pela carga [N.m] ou [kgfm].

n = rotação [rpm].

4.2.3. Cálculo do conjugado médio acelerador

O conjugado médio acelerador pode ser determinado a partir da diferença entre o valor médio do conjugado do motor e o valor médio do conjugado da carga.

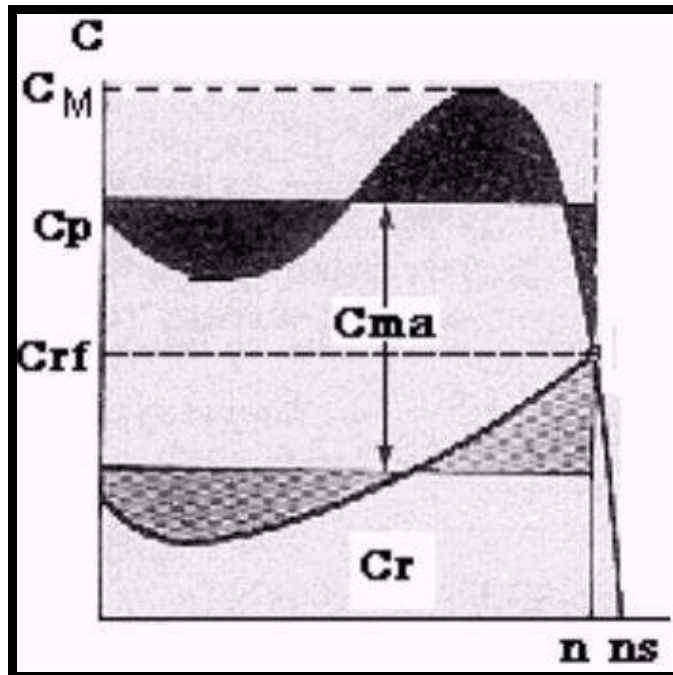


Figura 4.3. Curva do motor e carga acionada (RAMOS, PENTEADO, 2002)

Onde:

C_{ma} = conjugado médio acelerador [N.m].

C_p = conjugado de partida do motor [N.m].

C_M = conjugado máximo do motor [N.m].

C_r = conjugado exigido pela carga [N.m].

C_n = conjugado nominal [N.m].

C_{rf} = conjugado resistente em funcionamento [N.m].

Além das curvas de conjugado, pode-se utilizar também o método simplificado, cuja equação para motores categoria N e cargas com conjugado parabólico, vale (LOBOSCO; DIAS, 1988):

$$C_{ma} = 0,5 \left(C_p + C_M - C_{rf} \frac{n_e}{n} \right) \quad (4.5)$$

Onde:

C_{ma} = conjugado médio acelerador [N.m].

C_p = conjugado de partida do motor [N.m].

C_M = conjugado máximo do motor [N.m].

C_{rf} = conjugado resistente da carga [kgfm].

n_e = rotação da carga [rpm].

n = rotação nominal do motor [rpm].

Caso o motor original possua partida estrela-triângulo, os valores de C_p e C_M devem ser corrigidos segundo as expressões (LOBOSCO; DIAS, 1988):

$$C_p' = C_p \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right)^{2,2} \quad (4.6)$$

$$C_M' = C_M \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right)^2 \quad (4.7)$$

4.2.4. Cálculo do momento de inércia total

O momento de inércia é o valor da resistência que um corpo oferece a uma mudança em seu movimento de rotação em torno de um dado eixo.

O momento de inércia total pode ser determinado através da seguinte equação (RAMOS; PENTEADO, 2002):

$$J_t = \frac{93,63 \cdot C_{ma} \cdot t_a}{n} \quad (4.8)$$

Onde:

J_t = momento de inércia total [kgm^2].

C_{ma} = conjugado médio acelerador [N.m].

t_a = tempo de aceleração [s].

n = rotação [rpm].

4.2.5. Cálculo do momento de inércia da máquina

O momento de inércia da máquina é determinado subtraindo-se do valor do momento de inércia total, o momento de inércia do rotor, segundo a equação (LOBOSCO; DIAS, 1988):

$$J_{máquina} = J_t - J_{rotor} \quad (4.9)$$

Onde:

$J_{máquina}$ = momento de inércia da máquina [kgm²].

J_t = momento de inércia total [kgm²].

J_{rotor} = momento de inércia do rotor [kgm²], disponível no catálogo do fabricante.

4.3. Motor proposto

4.3.1. Cálculo do conjugado nominal (equações 4.1 e 4.2):

$$C_n = \frac{P.60}{2.\pi.n}$$

Onde:

C_n = conjugado nominal [N.m].

P = potência mecânica de saída [W].

n = rotação [rpm].

4.3.2. Cálculo do conjugado médio acelerador (equação 4.5):

$$C_{ma} = 0,5 \left(C_p + C_M - C_{rf} \frac{n_e}{n} \right)$$

Onde:

C_{ma} = conjugado médio acelerador [N.m].

C_p = conjugado de partida do motor [N.m].

C_M = conjugado máximo do motor [N.m].

C_{rf} = conjugado resistente da carga [kgfm].

n_e = rotação da carga [rpm].

n = rotação nominal do motor [rpm].

4.3.3. Cálculo do momento de inércia total (equação 4.9):

$$J_t = J_{máquina} + J_{rotor}$$

Onde:

J_t = momento de inércia total [kgm²].

$J_{máquina}$ = momento de inércia da máquina [kgm²].

J_{rotor} = momento de inércia do rotor [kgm²], disponível no catálogo do fabricante.

4.3.4. Cálculo do tempo de aceleração (RAMOS; PENTEADO, 2002):

$$t_a = \frac{J_t \cdot n}{93,63 \cdot C_{ma}} \quad (4.10)$$

Onde:

t_a = tempo de aceleração [s].

J_t = momento de inércia total [kgm²].

n = rotação [rpm].

C_{ma} = conjugado médio acelerador [kgfm].

O tempo de aceleração deve ser menor do que o tempo de rotor bloqueado, para que a carga seja acelerada, sem causar danos ao motor.

CAPÍTULO 5 – ESTUDO DE CASO

5.1. INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

A indústria alimentícia surgiu no Brasil junto ao processo de industrialização, tendo um crescimento acentuado a partir da década de 20, devido ao aumento de investimentos no setor agropecuário.

Nesta mesma década, outras empresas nacionais do ramo de alimentos foram sendo criadas, atuando com capital nacional até os anos 60, quando investimentos vindos do exterior começaram a predominar, provocando um significativo aumento de multinacionais e um grande avanço tecnológico.

Dentre as inúmeras indústrias de transformação, o setor alimentício é o que mais se destaca, representando em 1998, 10 % do PIB nacional (HISTÓRICO..., 2004).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação - ABIA, o setor alimentício aplicou aproximadamente o montante de US\$ 230 milhões em 2002 e 2003, referentes à modernização de equipamentos e processos, para que as indústrias nacionais pudessem concorrer no mercado estrangeiro, altamente competitivo (INDÚSTRIA..., 2004).

Porém, a indústria alimentícia deve comemorar, pois o Brasil lidera as exportações de diversos produtos, como carne bovina, suína, frango, frutas e sucos, alavancando, desta forma, o desenvolvimento de processos de logística e de suprimentos (PROVATTI, 2004).

Indicadores levantados pela ABIA mostram uma significativa evolução do setor alimentício no primeiro semestre de 2004, quando comparado ao de 2003, notando-se o aumento do emprego da ordem de 2,88 %, sendo que a capacidade

instalada chegou a atingir 72,6 % em junho, valor este, acima da média, se comparado ao mesmo período de 2003.

Segundo estimativas, durante 2004, foram criados no setor de alimentação, 27000 empregos diretos, mostrando a retomada do crescimento industrial e fazendo com que o setor alimentício, fosse o setor de maior crescimento desde o final do século XIX (CENÁRIOS..., 2004) (CALEQA, 2004).

Desta maneira, a indústria alimentícia também se interessa em participar de Programas de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética, adotados pela ANEEL, pois através do investimento realizado pela concessionária de energia elétrica, pode beneficiar-se com grandes economias na conta de energia, devido a mudanças de tecnologia e eficientização de equipamentos e processos.

Sendo assim, a indústria de alimentos, composta de empresas que concorrem num mercado globalizado, pode melhorar sua posição competitiva, implementando programas bem sucedidos de conservação de energia elétrica.

5.2. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado em uma empresa do ramo alimentício, cujo projeto de eficientização energética em sistemas motrizes, quando concluído, será o maior do setor, implementado no Brasil.

Do início de 2003 até o final de 2004, foram substituídos 382 motores, com potência compreendida entre 1 a 350 cv, totalizando aproximadamente 17000 cv.

Esta substituição proporcionou uma economia anual de 3100 MWh, correspondente a 4,52 % da energia anteriormente utilizada, além da redução significativa nos custos de manutenção em função da redução do tempo de parada

de máquinas devido à defeitos nos motores elétricos. Além disso, a motivação dos funcionários dos setores de produção e manutenção aumentou, por perceberem a preocupação da empresa em investir na atualização tecnológica.

Esse projeto constituiu no estudo de grande quantidade de acionamentos motrizes, envolvendo os mais diversos equipamentos dos setores de utilidades e produção, dentre os quais, dois serão apresentados.

5.3. SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES DE MESMA POTÊNCIA NOMINAL

Este procedimento foi aplicado em acionamentos onde o carregamento do motor do tipo padrão encontrava-se acima de 75 %.

Neste caso, o custo da substituição refere-se apenas à aquisição do motor de alto rendimento, uma vez que não houve necessidade de adaptação pela utilização de carcaças normalizadas.

A Figura 5.1 apresenta dois acionamentos idênticos com motores de potência nominal de 100 cv, dos tipos padrão e alto rendimento.



Figura 5.1. Motores Alto Rendimento (esquerda) e Padrão

Esta montagem serviu para um estudo comparativo entre os motores, podendo-se notar as dimensões ligeiramente superiores do motor de alto rendimento em relação ao motor padrão, de mesma potência nominal.

Estes motores, de 4 pólos e tensão trifásica de 380 V, operam 8000 h/ano acionando bombas centrífugas de uma torre de resfriamento d'água.

Os dados técnicos dos motores em estudo estão apresentados nas Figuras 5.2 e 5.3:

Sigla do Fabricante	Tipo	RPM	Grau de Proteção	Fabricante
WEG	Padrão	1800	IP54	Cadastrar >>
Num. 637				
Potencia(CV)	100	Rendimento 50%	90	Momento de Inércia (kgm ²)
				0.948
Carcapa	250 S/M	Rendimento 75%	92	Tempo com Rotor Bloqueado (s)
				6
RPM Assinc.	1775	Rendimento 100%	92.5	Nível de Ruído (dB)
				81
Corrente Nominal (A)	240	Fator de Potência 50%	0.76	Peso(kg)
				442
Corrente Rotor Bloqueado	8.8	Fator de Potência 75%	0.84	Preço (R\$)
				3091.97
Conjugado Nominal (kgfm)	40.3	Fator de Potência 100%	0.87	Garantia (Anos)
				2
Conjugado Rotor Bloqueado	3.2	Fator de Serviço	1	Ano de Fabricação
				1997
Conjugado Máximo	3.2			

Figura 5.2. Motor 100 cv tipo padrão

Sigla do Fabricante	Tipo	RPM	Grau de Proteção	Fabricante
WEG	Alto Rendimento	1800	IP55	Cadastrar >>
Num. 1506				
Potencia(CV)	100	Rendimento 50%	93	Momento de Inércia (kgm ²)
				1.155
Carcapa	250S/M	Rendimento 75%	94.2	Tempo com Rotor Bloqueado (s)
				10
RPM Assinc.	1780	Rendimento 100%	94.5	Nível de Ruído (dB)
				75
Corrente Nominal (A)	245	Fator de Potência 50%	0.69	Peso(kg)
				510
Corrente Rotor Bloqueado	8.4	Fator de Potência 75%	0.8	Preço (R\$)
				8422.67
Conjugado Nominal (kgfm)	40.2247	Fator de Potência 100%	0.85	Garantia (Anos)
				2
Conjugado Rotor Bloqueado	3	Fator de Serviço	1.15	Ano de Fabricação
				2003
Conjugado Máximo	3.3			

Figura 5.3. Motor 100 cv tipo alto rendimento

Através de medição no motor padrão, determinou-se com o analisador de potência, o valor de 64,02 kW, e fator de potência de 0,85 (Figura 5.4):

Summary Information		Voltage	Current	
Frequency	59.81	RMS	378.5	115.45
Power		Peak	542.0	162.09
KW	64.02	DC Offset	-0.2	-0.49
KVA	75.69	Crest	1.43	1.40
KVAR	-40.02	THD Rms	2.46	4.68
Peak KW	*	THD Fund	2.46	4.69
Phase	32* lag	HRMS	9.3	5.41
Total PF	0.85	KFactor		1.12
DPF	0.85			

Figura 5.4. Medição Fluke - Motor 100 cv tipo padrão

Em seguida, com o programa BD Motor, obteve-se o valor de 80 % para o carregamento desse acionamento (Figura 5.5):

Dimensionamento por Potência >>> Motor 637 - WEG

Potência de Saída cv Kw

Rendimento (%)	Potência Entrada	Potência Saída
50 % <input type="text" value="90.00"/>	<input type="text" value="40.89"/> Kw	<input type="text" value="36.80"/> Kw
75 % <input type="text" value="92.00"/>	<input type="text" value="60.00"/> Kw	<input type="text" value="55.20"/> Kw
100 % <input type="text" value="92.50"/>	<input type="text" value="79.57"/> Kw	<input type="text" value="73.60"/> Kw

Potência de Entrada Medida >>> Kw

Potência de Saída <input type="text" value="58.88"/> Kw	P. saída/P. nominal <input type="text" value="80.01"/> %
---	--

Figura 5.5. Dimensionamento motor 100 cv tipo padrão

Caso o acionamento fosse efetuado por um motor de alto rendimento, o programa apresentou um valor de potência igual a 62,49 kW (Figura 5.6):

Dimensionamento por Potência >>> Motor 1506 - WEG

Potência de Saída cv Kw

Rendimento (%)	Potência Entrada	Potência Saída
50 % <input type="text" value="93.00"/>	<input type="text" value="39.57"/> Kw	<input type="text" value="36.80"/> Kw
75 % <input type="text" value="94.20"/>	<input type="text" value="58.60"/> Kw	<input type="text" value="55.20"/> Kw
100 % <input type="text" value="94.50"/>	<input type="text" value="77.88"/> Kw	<input type="text" value="73.60"/> Kw

Potência de Entrada Medida >>> Kw

Potência de Saída Kw P. saída/P.nominal %

Figura 5.6. Dimensionamento motor 100 cv tipo alto rendimento

Efetuada-se medições no motor de alto rendimento, instalado ao lado do motor padrão, obteve-se o valor de 61,17 kW, com fator de potência de 0,8 (Figura 5.7):

Summary Information		Voltage	Current	
Frequency	59.96	RMS	369.5	119.88
Power		Peak	519.3	166.84
KW	61.17	DC Offset	-0.4	-0.36
KVA	76.72	Crest	1.41	1.39
KVAR	-46.10	THD Rms	2.05	4.09
Peak KW	*	THD Fund	2.06	4.09
Phase	37° lag	HRMS	7.6	4.90
Total PF	0.80	KFactor		1.08
DPF	0.80			

Figura 5.7. Medição Fluke - Motor 100 cv tipo alto rendimento

O desvio percentual entre os valores previsto e real para este caso, foi de 2,11 %, demonstrando a validade do programa BD Motor nos estudos de eficiência energética em sistemas motrizes.

Para as demais simulações, o desvio percentual entre os valores previsto e real variou de 2,11 % a 6,3 %, valores satisfatórios, quando comparados aos desvios

percentuais fornecidos pelos fabricantes, de 2% para o Fluke 41B e 43B e 10% para o programa BD Motor.

Com os valores medidos, as horas de operação e o valor atual da tarifa de energia elétrica, determinou-se o valor de 18 meses para o retorno do investimento, segundo a equação 5.1(RAMOS, 2002):

$$TRI = \frac{\log \left[\frac{(EA)}{(EA) - i(PR)} \right]}{\log(1 + i)} \quad (5.1)$$

Onde:

TRI = tempo de retorno do investimento [anos].

EA = economia anual de energia elétrica, referente à redução de consumo e potência [R\$].

PR = preço dos motores [R\$].

i = taxa anual de juros [%].

5.4. REDIMENSIONAMENTO MOTRIZ

Este procedimento foi aplicado nos acionamentos onde o carregamento do motor tipo padrão encontrava-se abaixo de 75 %.

Neste caso, o custo da substituição incluiu, além do motor de alto rendimento, as modificações necessárias para a sua adaptação à máquina, em função das diferenças de dimensões entre os mesmos.

Este estudo foi realizado em um exaustor de gases de uma caldeira a lenha utilizada na geração de vapor, que opera 8000 h/ano.

O motor original instalado, de potência nominal 200 cv, era do tipo padrão, 6 pólos, trifásico, 380 V.

Através de medição no motor padrão, determinou-se com o analisador de potência, o valor de 62,55 kW e fator de potência de 0,66 (Figura 5.8):

Summary Information		Voltage		Current
Frequency	59.96	RMS	383.8	143.6
Power		Peak	551.2	206.8
KW	62.55	DC Offset	-0.5	-2.3
KVA	95.47	Crest	1.44	1.44
KVAR	-71.97	THD Rms	1.60	4.73
Peak KW	*	THD Fund	1.60	4.74
Phase	49° lag	HRMS	6.1	6.8
Total PF	0.66	KFactor		1.09
DPF	0.66			

Figura 5.8. Medição Fluke - Motor 200 cv tipo padrão

Em seguida, com o programa BD Motor, obteve-se o valor de 37,60 % para o carregamento deste acionamento (Figura 5.9):

Dimensionamento por Potência >>> Motor 613 - WEG

Potência de Saída cv Kw

	Rendimento (%)	Potência Entrada	Potência Saída
50 %	<input type="text" value="90.00"/>	<input type="text" value="81.78"/> Kw	<input type="text" value="73.60"/> Kw
75 %	<input type="text" value="92.00"/>	<input type="text" value="120.00"/> Kw	<input type="text" value="110.40"/> Kw
100 %	<input type="text" value="93.10"/>	<input type="text" value="158.11"/> Kw	<input type="text" value="147.20"/> Kw

Potência de Entrada Medida >>> Kw

Potência de Saída <input type="text" value="55.35"/> Kw	P. saída/P.nominal <input type="text" value="37.60"/> %
---	---

Figura 5.9. Dimensionamento motor 200 cv tipo padrão

Caso o acionamento fosse efetuado por um motor de 200 cv, alto rendimento, o programa apresentou um valor de potência igual a 59,54 kW (Figura 5.10).

Dimensionamento por Potência >>> Motor 1538 - WEG

Potência de Saída cv Kw

Rendimento [%]	Potência Entrada	Potência Saída
50 % <input type="text" value="94.00"/>	<input type="text" value="78.30"/> Kw	<input type="text" value="73.60"/> Kw
75 % <input type="text" value="94.60"/>	<input type="text" value="116.70"/> Kw	<input type="text" value="110.40"/> Kw
100 % <input type="text" value="95.00"/>	<input type="text" value="154.95"/> Kw	<input type="text" value="147.20"/> Kw

Potência de Entrada Medida >>> Kw

Potência de Saída	P. saída/P.nominal
<input type="text" value="55.35"/> Kw	<input type="text" value="37.60"/> %

Figura 5.10. Dimensionamento motor 200 cv tipo alto rendimento

Instalando-se o motor de alto rendimento de 200 cv, obteve-se, através de medições, o valor de 58,18 kW e fator de potência de 0,54 (Figura 5.11):

Summary Information			Voltage	Current
Frequency	59.96	RMS	382.5	161.6
Power		Peak	543.9	229.9
KW	58.18	DC Offset	0.0	-3.1
KVA	107.05	Crest	1.42	1.42
KVAR	-89.60	THD Rms	0.86	2.24
Peak KW	*	THD Fund	0.86	2.24
Phase	57* lag	HRMS	3.3	3.6
Total PF	0.54	KFactor		1.02
DPF	0.54			

Figura 5.11. Medição Fluke - Motor 200 cv tipo alto rendimento

Sendo o preço deste motor igual a R\$ 21.461,85 (US\$ 7.153,95), o tempo de retorno do investimento seria de 31 meses.

Caso o acionamento fosse efetuado por um motor de 100 cv, alto rendimento, o programa apresentou um valor de potência igual a 59,03 kW (Figura 5.12):

Dimensionamento por Potência >>> Motor 1534 - WEG

Potência de Saída cv Kw

Rendimento (%)	Potência Entrada	Potência Saída
50 % <input type="text" value="93.00"/>	<input type="text" value="39.57"/> Kw	<input type="text" value="36.80"/> Kw
75 % <input type="text" value="93.60"/>	<input type="text" value="58.97"/> Kw	<input type="text" value="55.20"/> Kw
100 % <input type="text" value="94.10"/>	<input type="text" value="78.21"/> Kw	<input type="text" value="73.60"/> Kw

Potência de Entrada Medida >>> Kw

Potência de Saída Kw P. saída/P.nominal %

Figura 5.12. Dimensionamento motor 100 cv tipo alto rendimento

Instalando-se o motor de 100 cv, alto rendimento, obteve-se, através de medições, o valor de 55,81 kW e fator de potência de 0,80 (Figura 5.13):

Summary Information		Voltage	Current	
Frequency	59.96	RMS	363.7	111.00
Power		Peak	519.4	160.95
KW	55.81	DC Offset	-0.2	-0.31
KVA	69.93	Crest	1.43	1.45
KVAR	-42.06	THD Rms	0.90	3.30
Peak KW	*	THD Fund	0.90	3.30
Phase	37* lag	HRMS	3.3	3.66
Total PF	0.80	KFactor		1.03
DPF	0.80			

Figura 5.13. Medição Fluke - Motor 100 cv tipo alto rendimento

Sendo o preço deste motor igual a R\$ 12.922,55 (US\$ 4.307,51), o tempo de retorno do investimento seria de 12 meses.

Finalmente, realizou-se um estudo para verificar se um motor de 75 cv, alto rendimento, teria conjugado suficiente para acelerar esta carga desde o repouso até sua velocidade de funcionamento, num tempo inferior ao de rotor bloqueado.

5.4.1. Motor padrão 200 cv com partida estrela-triângulo (Figura 5.14):

Sigla do Fabricante	Tipo	RPM	Grau de Proteção	Fabricante
WEG	Padrão	1200	IP54	Cadastrar >>
Num. 613				
Potencia(CV)	200	Rendimento 50%	90	Momento de Inércia (kgm ²)
				4.625
Carcaca	315 S/M	Rendimento 75%	92	Tempo com Rotor Bloqueado (s)
				14
RPM Assinc.	1185	Rendimento 100%	93.1	Nível de Ruído (dB)
				76
Corrente Nominal (A)	500	Fator de Potência 50%	0.74	Peso(kg)
				987
Corrente Rotor Bloqueado	7.8	Fator de Potência 75%	0.8	Preço (R\$)
				7426.43
Conjugado Nominal (kgfm)	121	Fator de Potência 100%	0.83	Garantia (Anos)
				2
Conjugado Rotor Bloqueado	2.8	Fator de Serviço	1	Ano de Fabricação
				1997
Conjugado Máximo	2.4			

Figura 5.14. Motor 200 cv tipo padrão

5.4.1.1. *Cálculo do Conjugado Nominal (equações 4.1 e 4.2):*

$$\therefore C_n = 1186 \text{ [N.m]} \text{ ou } 121 \text{ [kgfm]}$$

5.4.1.2 *Verificação do conjugado exigido pela carga (equações 4.3 e 4.4):*

$$\therefore C_{\text{carga}} = 442,75 \text{ [N.m]} \text{ ou } 45,17 \text{ [kgfm]}$$

5.4.1.3. *Cálculo do conjugado médio acelerador (equações 4.5, 4.6 e 4.7):*

$$\therefore C_p = 0,836$$

$$C_M = 0,8$$

$$C_{\text{ma}} = 121 \cdot 0,6315 = 76,41 \text{ [kgfm]}$$

5.4.1.4. *Cálculo do momento de inércia total (equação 4.8): conhecendo-se o*

tempo de aceleração $t_a = 10s$

$$\therefore J_t = 59,89 \text{ [kgm}^2\text{]}$$

5.4.1.5. Cálculo do momento de inércia da máquina (equação 4.9):

$$\therefore J_{\text{máquina}} = 59,89 - 4,625 = 55,265 \text{ [kgm}^2\text{]}$$

5.4.2. Motor de Alto Rendimento 75 cv com partida direta (Figura 5.15):

Sigla do Fabricante	Tipo	RPM	Grau de Proteção	Fabricante	
WEG	Alto Rendimento	1200	IP55	Cadastrar >>	
Num. 1533					
Potencia(CV)	75	Rendimento 50%	92	Momento de Inércia (kgm ²)	1.365
Carcaca	250S/M	Rendimento 75%	93	Tempo com Rotor Bloqueado (s)	18
RPM Assinc.	1180	Rendimento 100%	93.6	Nível de Ruído (dB)	65
Corrente Nominal (A)	188	Fator de Potência 50%	0.67	Peso(kg)	453
Corrente Rotor Bloqueado	7	Fator de Potência 75%	0.77	Preço (R\$)	9143.89
Conjugado Nominal (kgfm)	45.5085	Fator de Potência 100%	0.82	Garantia (Anos)	2
Conjugado Rotor Bloqueado	2.8	Fator de Serviço	1.15	Ano de Fabricação	2003
Conjugado Máximo	2.9				

Figura 5.15. Motor 75 cv tipo alto rendimento

5.4.2.1. Cálculo do conjugado nominal (equações 4.1 e 4.2):

$$\therefore C_n = 45,6 \text{ [kgfm]}$$

5.4.2.2. Cálculo do conjugado médio acelerador (equação 4.5):

$$\therefore C_{ma} = 2,3537 \cdot 45,5085 = 107,11 \text{ [kgfm]}$$

5.4.2.3. Cálculo do momento de inércia total (equação 4.9):

$$\therefore J_t = 56,63 \text{ [kgm}^2\text{]}$$

5.4.2.4. Cálculo do tempo de aceleração (equação 4.10):

$$\therefore t_a = 6,66 \text{ [s]}$$

O motor de 75 cv, alto rendimento, leva 6,66 s para partir esta carga, valor este satisfatório, se comparado com o tempo de rotor bloqueado, fornecido no catálogo do fabricante, de 18 s.

Desta forma, instalando-se o motor de 75 cv, alto rendimento, obteve-se o valor de 55,45 kW, com fator de potência igual a 0,86 (Figura 5.16).

Summary Information		Voltage	Current
Frequency	59.96	RMS	373.2
Power		Peak	531.2
KW	55.45	DC Offset	-0.2
KVA	64.70	Crest	1.42
KVAR	-33.31	THD Rms	1.72
Peak KW	*	THD Fund	1.72
Phase	31° lag	HRMS	6.4
Total PF	0.86	KFactor	1.05
DPF	0.86		

Figura 5.16. Medição Fluke - Motor 75 cv tipo alto rendimento

Sendo o preço deste motor igual a R\$ 9.143,89 (US\$ 3.047,96), o tempo de retorno do investimento foi de 8 meses. A Figura 5.17 mostra o motor de 75 cv instalado.



Figura 5.17. Motor Alto Rendimento 75 cv

A Figura 5.18 apresenta os resultados obtidos, onde se pode observar a vantagem do redimensionamento motriz em função do rápido retorno do investimento.

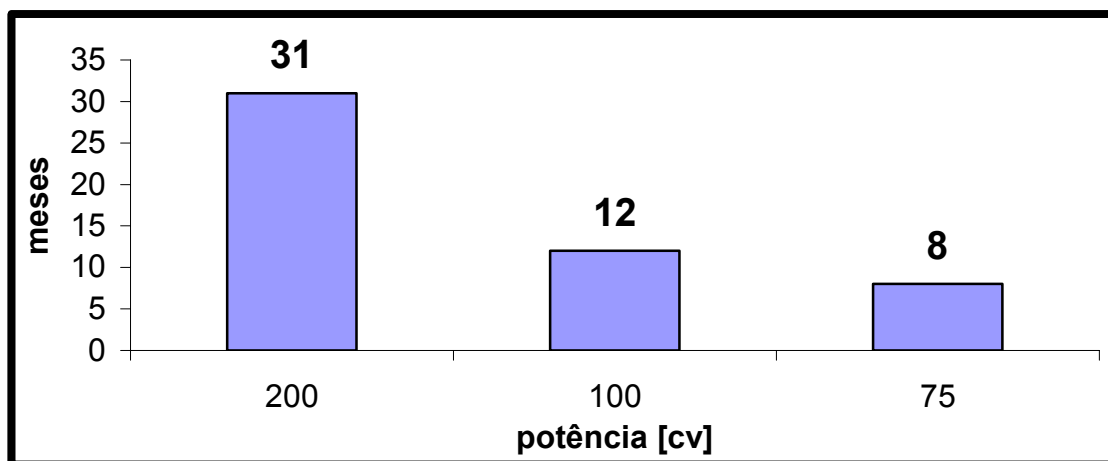


Figura 5.18. Comparação entre os tempos de retorno do investimento para diferentes potências nominais

CAPÍTULO 6 - ANÁLISE ECONÔMICA

6.1. DEFINIÇÕES

6.1.1. VALOR PRESENTE LÍQUIDO

O VPL pode ser definido como sendo a soma algébrica de todos os fluxos de caixa descontados para o instante presente, à uma determinada taxa de juros “i”.

A equação 6.1 apresenta o cálculo do Valor Presente Líquido (PUCCINI, 1999):

$$VPL(i) = \sum_{j=0}^{n_p} \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad (6.1)$$

Onde:

VPL = valor presente líquido [R\$].

i = taxa de desconto [%].

j = período genérico que percorre todo o fluxo de caixa [dia] [mês] [ano].

FC_j = fluxo genérico, podendo ser positivo (receita) ou negativo (custos) [R\$].

n_p = número de períodos [dia] [mês] [ano].

Se VPL > 0, a alternativa pode ser considerada viável economicamente.

Se VPL < 0, a alternativa é considerada inviável.

Se VPL = 0, é indiferente investir ou não nesta alternativa.

6.1.2. TAXA INTERNA DE RETORNO

Matematicamente, a TIR é o valor da taxa de desconto que anula o Valor Presente Líquido obtido.

A TIR é um índice que mede a rentabilidade de um investimento durante um período de tempo.

Para uma alternativa de investimento, se a Taxa Interna de Retorno for maior que a taxa mínima de atratividade do mercado, a alternativa pode ser considerada viável e, caso contrário, a alternativa deve ser rejeitada (MOTTA, 2002).

A equação 6.2 apresenta como pode ser determinada a TIR (PUCCINI, 1999):

$$TIR = \sum_{j=0}^{n_p} FC_j \cdot \left\{ \frac{1}{(1+i)} \right\}^j = 0 \quad (6.2)$$

Onde:

TIR = taxa interna de retorno [%].

i = taxa de atratividade do mercado [%].

FC_j = fluxo de caixa genérico [R\$].

n_p = número de períodos [dia] [mês] [ano].

Para a determinação da TIR, existe uma metodologia que segue os seguintes passos:

1. Calcular o VPL com uma taxa “i” inicial.
2. Se VPL > 0, recalculer com uma taxa “i” maior.
3. Se VPL < 0, recalculer com uma taxa “i” menor.
4. Interagir sucessivamente até se obter o valor de VPL = 0. Neste ponto, tem-se o valor da Taxa Interna de Retorno.

A TIR não pode ser utilizada diretamente como critério de seleção de investimentos, salvo que todas as alternativas tenham investimentos iguais, sendo a melhor opção, aquela com maior valor de TIR.

A TIR também não deve ser utilizada em casos de múltiplas inversões de caixa, ou seja, investimentos que são realizados ao longo do ciclo do projeto, devido à existência de múltiplos resultados, dificultando a análise de viabilidade econômica.

Neste caso, a melhor alternativa econômica pode ser obtida, comparando-se os valores de VPL dos projetos (PUCCINI, 1999).

6.1.3. JUROS

Juros pode ser definido como sendo a remuneração do capital. São fixados através de uma taxa percentual sempre referida a uma unidade de tempo (ano, semestre, trimestre, mês, dia).

Os juros podem ser simples ou compostos. No primeiro caso, apenas o capital inicial rende juros. No segundo, somam-se os juros do período ao capital para o cálculo dos juros dos períodos seguintes.

6.2. PLANILHA EXCEL

As funções financeiras contidas no software Microsoft Excel simplificam muito os cálculos de viabilidade econômica.

O cálculo do Valor Presente Líquido pode ser feito através da função chamada VPL, sendo sua estrutura a seguinte: VPL (i, Fluxo), onde:

i = taxa de desconto utilizada [%].

Fluxo = conjunto de células da planilha Excel, compreendidas entre o ano 1 e o ano n, que devem ser descontadas para o ano zero [R\$].

O cálculo da TIR segue os mesmos moldes do fluxo de caixa para a função VPL.

Para o caso de múltiplas inversões de caixa, a função inclui uma opção que estima o valor desejado, que no caso de raízes múltiplas, pode influenciar o resultado apresentado (MOTTA, 2002) (PUCCINI, 1999).

6.3. TARIFAS

Até 1981, o sistema tarifário utilizado era o denominado *Convencional*, que não permitia ao consumidor, perceber o reflexo decorrente dos horários de utilização da eletricidade e também dos períodos do ano.

Porém, o consumo de energia elétrica foi se tornando uma curva média de mercado de energia elétrica, baseado em hábitos e características próprias de uma dada região, de forma que, durante um dia útil de trabalho, observa-se no horário das 17 às 22 horas, um aumento do uso de energia, resultante de várias classes de consumidores, como: residencial, comercial, industrial, rural, iluminação pública, etc.

Este horário de maior consumo de energia elétrica, denomina-se *horário de ponta do sistema elétrico*, intervalo este, onde as redes de distribuição assumem um maior valor de carga, atingindo seu valor máximo, aproximadamente às 19hs, horário este, que pode variar de região para região. A Figura 6.1 apresenta a curva de carga diária do sistema elétrico nacional (ELETROBRÁS,2003):



Figura 6.1. Curva de carga diária do sistema elétrico (ELETROBRÁS, 2003)

Desta forma, devido ao maior carregamento das redes de distribuição no *horário de ponta*, o fornecimento de energia elétrica para um novo consumidor, custará mais caro à concessionária do que em qualquer outro horário do dia, devido à necessidade de ampliação de seu sistema.

Da mesma forma que a curva de carga diária, o comportamento do mercado de energia elétrica ao longo do ano, possui características típicas, conforme apresenta a Figura 6.2 (RAMOS, 2002):

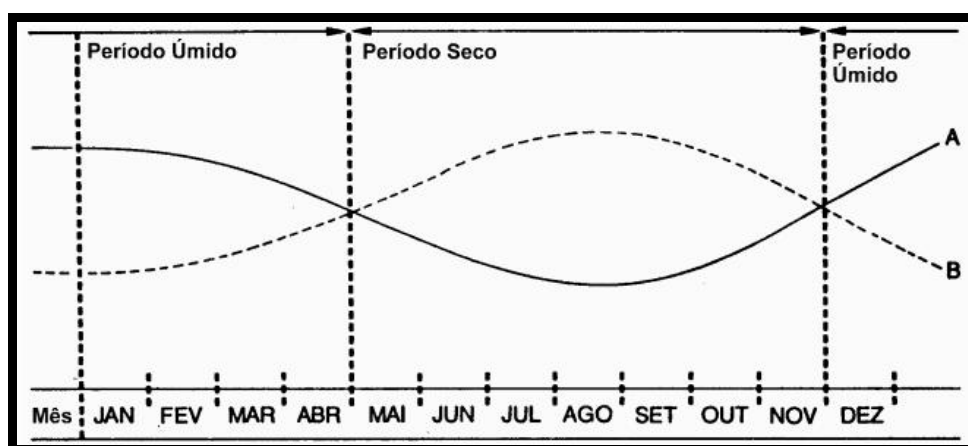


Figura 6.2. Comportamento da oferta/demanda de energia durante o ano (RAMOS, 2002)

Curva A: Apresenta a disponibilidade média de armazenamento de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas, constituindo um potencial para geração de energia elétrica.

Curva B: Apresenta o comportamento do mercado de energia elétrica, tendo seu valor máximo no período onde a disponibilidade de água é mínima.

Desta forma, define-se como período seco, o intervalo entre os meses de maio a novembro do mesmo ano, e período úmido, o período de dezembro a abril do ano seguinte.

Assim sendo, a existência de um mercado de energia elétrica no período seco somente é possível, devido à capacidade de acumulação dos reservatórios que

estocam água durante o ano, de forma que o custo da energia elétrica é mais caro, pelo fato da necessidade de construção de grandes reservatórios.

Em função destes fatores, foi criada uma estrutura tarifária chamada *horo-sazonal*, modalidades verde e azul, que possuem preços diferenciados de acordo com o horário do dia (ponta e fora de ponta) e períodos do ano (seco e úmido).

A aplicação tarifária *horo-sazonal* estimula o consumidor a deslocar parte de sua carga para horários onde o sistema elétrico é menos solicitado e orienta o mesmo a utilizar uma maior quantidade de energia em períodos com maior disponibilidade de água nos reservatórios.

Desta forma, o fornecimento de energia elétrica para novos consumidores trará menores investimentos às concessionárias, devido à liberação da capacidade do sistema de atendimento, pelo fato do deslocamento de carga e consumo. Da mesma forma, os preços diferenciados permitem ao consumidor reduzir seus custos com energia elétrica, através de uma menor solicitação do sistema, em determinados períodos do dia e do ano (RAMOS, 2002).

6.3.1. DEFINIÇÕES (ANEEL, 2000)

- **Horário de Ponta:** Intervalo de 3 horas consecutivas, definido pela concessionária, compreendido entre 17 e 22hs, de segunda a sexta feira.
- **Horário Fora de Ponta:** Intervalo de 21 horas consecutivas, acrescido do total das horas dos sábados e domingos.
- **Período Seco:** Intervalo compreendido entre os meses de maio a novembro.
- **Período Úmido:** Intervalo compreendido entre os meses de dezembro a abril.
- **Segmento Horo-sazonal:** Intervalos de ponta e fora de ponta com períodos seco e úmido, definidos da seguinte forma:

- Horário de Ponta no Período Seco – PS.
 - Horário de Ponta no Período Úmido – PU.
 - Horário Fora de Ponta no Período Seco – FPS.
 - Horário Fora de Ponta no Período Úmido – FPU.
- **Tarifa de Ultrapassagem:** Aplicada a parcela que ultrapassa o valor da demanda contratada, respeitando os limites de tolerância.

6.3.2. GRUPOS DE CONSUMIDORES

São divididos em Grupo A e Grupo B, segundo a tensão de fornecimento, conforme apresenta a Tabela 6.1 (ELETROBRÁS, 2003):

Tabela 6.1 – Grupos de consumidores

GRUPO A	
Subgrupo	Tensão Fornecimento
A1	≥ 230 kV
A2	88 a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 a 44 kV
A4	2,3 a 25 kV
AS	Subterrâneo
GRUPO B	
Subgrupo	Tensão Fornecimento
B1	Residencial
B1	Residencial Baixa Renda
B2	Rural
B2	Cooperativa de Eletrificação Rural
B2	Serviço Público de Irrigação
B3	Demais Classes
B4	Iluminação Pública

6.3.3. ESTRUTURA TARIFÁRIA (COMITÊ..., 1988)

6.3.3.1. TARIFA CONVENCIONAL

Aplicada em unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69kV, sempre que a demanda contratada for inferior a 300kW e inexistência de opção pela estrutura horo-sazonal. A tarifa convencional segue os seguintes critérios:

- Demanda [kW]: Preço único.
- Energia [kWh]: Preço único.

6.3.3.2. TARIFA HORO-SAZONAL VERDE

Aplicada em unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69kV, com demanda igual ou maior que 300kW. A tarifa horo-sazonal verde segue os seguintes critérios:

- Demanda [kW]: preço único.
- Energia [kWh]: preço para ponta em período úmido; preço para ponta em período seco; preço para fora de ponta em período úmido; preço para fora de ponta em período seco.

6.3.3.3. TARIFA HORO-SAZONAL AZUL

Aplicada às unidades consumidoras atendidas em tensão igual ou superior a 69kV, atendidas pelo sistema elétrico interligado. Aplicada também à unidades

consumidoras atendidas em tensão inferior a 69kV, com demanda igual ou superior a 300kW. A tarifa horo-sazonal azul segue os seguintes critérios:

- Demanda [kW]: preço para ponta; preço para fora de ponta.
- Energia [kWh]: preço para ponta em período úmido; preço para ponta em período seco; preço para fora de ponta em período úmido; preço para fora de ponta em período seco.

6.3.4. CONTRATAÇÃO

O contrato de fornecimento de energia elétrica entre a concessionária e o consumidor, deverá conter, além das cláusulas essenciais, outras que digam respeito a:

- Identificação do ponto de entrega.
- Tensão de fornecimento.
- Demanda contratada especificada por segmento horo-sazonal.
- Condições de revisão da demanda contratada.
- Data do início do fornecimento e prazo de vigência.
- Horário de ponta e fora de ponta.
- Condições de aplicação da tarifa de ultrapassagem.
- Critérios de rescisão.

O prazo de vigência do contrato deve ser estabelecido observando-se os seguintes aspectos:

- Na ausência de acordo diferente entre as partes, o contrato deve ser de 12 meses.

- Caso seja necessário investimento por parte da concessionária para o atendimento da carga instalada, esta poderá estabelecer, no primeiro contrato, um prazo de vigência de 24 meses.
- Caso o consumidor não se manifeste com antecedência mínima de 180 dias, o contrato pode ser prorrogado automaticamente por igual período.

6.3.5. ALTERAÇÃO DA DEMANDA CONTRATADA

Todas as solicitações de redução de demanda contratada devem ser atendidas pela concessionária, desde que feitas com antecedência mínima de 180 dias.

Porém, se a solicitação da redução de demanda for por motivo de implantação de medidas de conservação de energia, esta deve ser atendida imediatamente, desde que satisfeitos os compromissos de investimentos com a concessionária.

6.3.6. ULTRAPASSAGEM DA DEMANDA CONTRATADA

Um dos objetivos da tarifa horo-sazonal é disciplinar o mercado, de forma que o consumidor deve se precaver para que os valores de demanda medidos nos segmentos horo-sazonais, não ultrapassem os valores contratados anteriormente.

A tarifa de ultrapassagem será aplicada somente se os valores medidos ultrapassarem os valores de tolerância estabelecidos. Esses valores são:

- 5% para unidades consumidoras atendidas em tensão igual ou superior a 69kV.
- 10% para unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69kV.

Superado esses limites, cabe a aplicação da tarifa de ultrapassagem em toda parcela que exceder a respectiva demanda contratada.

6.4. RESULTADOS

A substituição dos motores resultou não somente na redução do consumo de energia elétrica, como também na redução da demanda contratada.

Para o regime tarifário classe A4, modalidade azul, considerou-se a alteração conforme a época do ano e a hora do dia em que a energia foi utilizada.

Os valores das tarifas de demanda e energia foram retirados do quadro de taxas e tarifas da CPFL, com vigência a partir do dia 08/04/2004:

DEMANDA

Ponta = 29,96 [R\$/kW]

Fora de Ponta = 9,56 [R\$/kW]

ENERGIA

Ponta Seca = 219,54 [R\$/MWh]

Fora de Ponta Seca = 112,90 [R\$/MWh]

Ponta Úmida = 200,54 [R\$/MWh]

Fora de Ponta Úmida = 100,22 [R\$/MWh]

Para as simulações, considerou-se o valor da tarifa média de consumo, utilizando-se da Figura 6.3 e da equação 6.3:

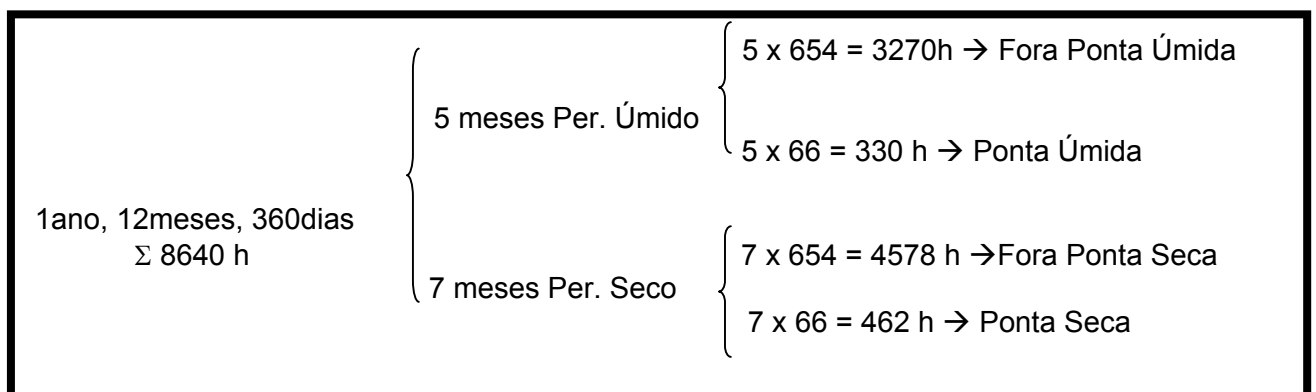


Figura 6.3. Número de horas utilizadas na determinação da tarifa média de energia elétrica

$$T_{C_{Média}} = \frac{3270.T_{C_{(FP)u}} + 330.T_{C_{(P)u}} + 4578.T_{C_{(FP)s}} + 462.T_{C_{(P)s}}}{8640} \quad (6.3)$$

Onde:

$T_{C_{Média}}$ = tarifa média de consumo [R\$/MWh].

$T_{C_{fpu}}$ = tarifa de consumo fora de ponta úmida [R\$/MWh].

$T_{C_{pu}}$ = tarifa de consumo ponta úmida [R\$/MWh].

$T_{C_{fps}}$ = tarifa de consumo fora de ponta seca [R\$/MWh].

$T_{C_{ps}}$ = tarifa de consumo ponta seca [R\$/MWh].

Através dos valores medidos antes e após as substituições dos motores, constatou-se uma economia anual de 3100 MWh.

No capital investido para a substituição dos 382 motores, foram considerados os valores do motor e do frete, totalizando R\$ 1.386.825,00 (US\$ 462.275,00).

A Tabela 6.2 apresenta, por unidade fabril, os valores da redução de demanda e economia de energia obtidos.

Tabela 6.2 - Resultados do programa de eficiência energética

Unidade	Redução de Demanda [kW]	Economia de Energia [kWh/ano]
1	99,19	781.403
2	127,32	735.048
3	35,20	283.293
4	37,88	294.910
5	10,45	76.339
6	32,27	208.381
7	55,50	420.808
8	46,11	331.204
TOTAL	443,92	3.131.386

A Tabela 6.3 apresenta os resultados do Programa de Eficiência Energética:

Tabela 6.3 – Resultados do programa de eficiência energética

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Potência Instalada [cv]	16889	16889	16889	16889	16889	16889
Redução de Demanda [kW]	0	443.92	443.92	443.92	443.92	443.92
Tarifa de Demanda [R\$/kW]	39.52	39.52	39.52	39.52	39.52	39.52
Benefício Redução de Demanda [R\$]	0	210525	210525	210525	210525	210525
Economia de Energia [kWh]	0	3131386	3131386	3131386	3131386	3131386
Tarifa de Energia [R\$/kWh]	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189
Benefício Economia de Energia [R\$]	0	591832	591832	591832	591832	591832
Receita [R\$]	0	802357	802357	802357	802357	802357
CAPEX [R\$]	-1386825	0	0	0	0	0
Depreciação [R\$]	0	92455	92455	92455	92455	92455
OPEX [R\$]	0	0	0	0	0	0
Fluxo de Caixa Líquido [R\$]	-1386825	802357	802357	802357	802357	802357
i [%]	6%					
VPL	6.405.866					
Tempo de Retorno do Investimento [meses]	23					
TIR	58%					

Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15
16889	16889	16889	16889	16889	16889	16889	16889	16889	16889
443.92	443.92	443.92	443.92	443.92	443.92	443.92	443.92	443.92	443.92
39.52	39.52	39.52	39.52	39.52	39.52	39.52	39.52	39.52	39.52
210525	210525	210525	210525	210525	210525	210525	210525	210525	210525
3131386	3131386	3131386	3131386	3131386	3131386	3131386	3131386	3131386	3131386
0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189
591832	591832	591832	591832	591832	591832	591832	591832	591832	591832
802357	802357	802357	802357	802357	802357	802357	802357	802357	802357
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92455	92455	92455	92455	92455	92455	92455	92455	92455	92455
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
802357	802357	802357	802357	802357	802357	802357	802357	802357	802357

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES

A substituição de motores do tipo padrão por de alto rendimento, em uma indústria de alimentos, trouxe as seguintes vantagens:

- O valor da economia proporcionada com a substituição vem a confirmar os valores previstos pelo programa BD Motor do Cepel, podendo, desta forma, ser utilizado com bastante precisão em estudos de eficientização energética em sistemas motrizes.
- O redimensionamento motriz, para casos de baixo carregamento, traz um rápido retorno do investimento, mesmo considerando o custo de adaptação do motor à máquina. O fator de potência do motor melhora e evita-se gastos desnecessários de correção, com a instalação de capacitores.
- Considerando o tempo de vida útil do motor de indução, aproximadamente de 15 anos, o rápido retorno do investimento tornou o projeto bastante atraente em termos de recuperação do capital aplicado (SANTOS et al, 2003).
- Como vantagens adicionais, observou-se uma redução significativa nos custos de manutenção em função da redução do tempo de parada de máquinas devido a defeitos nos motores elétricos. Além disso, a motivação dos funcionários dos setores de produção e manutenção aumentou, por perceberem a preocupação da empresa em investir na atualização tecnológica.

- O programa de eficiência energética, instituído através da ANEEL, tornou-se uma opção interessante ao empresário brasileiro, que poderá contar com recursos financeiros das concessionárias para realizar os investimentos necessários em projetos de eficiência energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M.F. Qualidade de energia e o impacto sobre o sistema consumidor. **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo, p.109 – 116, 1996.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Relatório Síntese dos Programas de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica. In: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Ciclo 98/99**. 1999. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 15 fev 2005.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução n. 456 de 26 de Novembro de 2000**. Disponível em: <<http://aneel.gov.br>> Acesso em: 20 fev 2005.

AUGUSTO, N. **Motores de alto rendimento**: dimensionamento e viabilidade econômica. 2001. 157 p. Dissertação Mestrado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BD MOTOR, versão 3.0: Software para Viabilização Energética: Manual do Usuário, 2003. 1 CD ROM.

BEN. **Balanco Energético Nacional**. Ministério de Minas e Energia. 1998. Disponível em <http://www.mme.gov.br> Acesso em: 12 jul. 2004.

BEN. **Balanco Energético Nacional**. Ministério de Minas e Energia. 2003. Disponível em <http://www.mme.gov.br> Acesso em: 22 fev. 2005.

CALEQA. Centro Acadêmico Livre de Engenharia Química e Alimentos. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Artigos**. Disponível em: <<http://www.caleqa.ufsc.br>> Acesso em: 10 fev. 2004.

CENÁRIOS para a indústria da alimentação. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO. **Artigos**. Disponível em: <<http://www.abia.org.br>> Acesso em: 19 ago. 2004.

COMITÊ de Distribuição de Energia Elétrica. **Tarifas Horó-sazonais – Manual de orientação ao consumidor**. 1988.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 2000. p. 245.

EDMINISTER, J.A. **Circuitos Elétricos**. Brasil: McGraw Hill, 1971. p. 132.

ELETROBRÁS. **Conservação de Energia**: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos. 2. ed. Itajubá: UNIFEI, 2003.

HADDAD, J., BORTONI, E.C., SANTOS, A.H.M., NOGUEIRA, L.A.H., MELONI, P.S.R., VASCONCELOS, E., MARTINS, A.R.S., AZEVEDO, E.M. A Influência dos Reparos no Desempenho de Motores de Indução trifásicos. **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo, p. 110-118, mar. 2000.

HIGH efficiency motors. In: CADDET. **Energy efficiency**. Disponível em: <<http://www.caddet.ee.org>> Acesso em: 20 jun. 2004.

HISTÓRICO da indústria alimentícia. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO. **Artigos**. Disponível em: <<http://www.abia.org.br>> Acesso em: 19 ago. 2004.

INDÚSTRIA alimentícia mantém investimentos em 2003. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. **Informaq**. Disponível em: <<http://www.abimaq.org.br>> Acesso em: 17 ago. 2004.

KREUTZFELD, S. Motores de Alto Rendimento: uma economia viável? **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo, p. 30-37, out. 1988.

LAMOGLIA, J.A. **Operação desequilibrada de motores de indução trifásicos – Procedimentos para análise**. 1993. 190p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de Itajubá - Minas Gerais.

LEI n. 8.172. Restabelece o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. In: CASA CIVIL - SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS JURÍDICOS. **Legislação**. 1991. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>> Acesso em: 14 ago. 2004.

LEI n. 9.991. Dispõe sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. 2000 In: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Eficiência Energética**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 14 ago. 2004.

LOBOSCO, O.S., DIAS, L.P.C. **Seleção e aplicação de motores elétricos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1988. p. 42-43.

MAMEDE, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997. p. 208-284.

MANUAL para Elaboração do Programa de Eficiência Energética. In: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Eficiência Energética**. 2002 Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 13 mai. 2004.

MARTIGNONI, A. **Máquinas de corrente contínua**. Porto Alegre: Globo, 1970. p. 163 -187.

MARTINON, J.; POISSON, CHATEAUVIEUX. Conhecendo melhor os fundamentos de tensão e as interrupções momentâneas. **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo, p66 – 78, 2000.

MIGUEL, A.A. **La amenaza de los armónicos y sus soluciones**. Madrid: Editora Centro Español de Información del Cobre, 1999. 205p.

MOREIRA, J.F., SOARES, G.A., TABOSA, R.P., SHINDA, R.. **Guia Operacional de Motores Elétricos**. Rio de Janeiro, RJ, 1998. p. 92-101.

MOTORES alto rendimento plus: o caminho para a eficiência. In: WEG. 2003. **Downloads e Sistemas Online**. Disponível em: <<http://www.weg.com.br>>. Acesso em: 1 jul. 2004.

MOTTA, R.R. **Análise de Investimentos. Tomadas de decisão em projetos industriais**. São Paulo: Atlas, 2002.

NBR 5410: **Instalações elétricas de baixa tensão**. ABNT. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 1997.

NBR 7094: **Máquinas elétricas girantes - Motores de indução - Especificação**. ABNT. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 1996. 50 p.

NBR 7094: **Máquinas elétricas girantes - Motores de indução - Especificação**. ABNT. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2000. 5 p.

NEMA - NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURES ASSOCIATION. **MG1: Motors and Generators**. Parte 30. 1998.

NISKIER, J., MACINTYRE, A.J. **Instalações Elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 2000. p. 173-207.

OLADE. Organizacion Latinoamericana de Energia. **Energy Statistics**. Energy Economic Information System, Version 11. Quito, 1999. p. 30-89.

PROVATTI, R. A indústria e a refrigeração. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO. **Revista Abrava**. Disponível em: <<http://www.abia.org.br>> Acesso em: 19 ago. 2004.

PUCCINI, A.L. **Matemática Financeira. Objetiva e Aplicada**. São Paulo: Saraiva, 1999.

RAMOS, M.C.E.S., MAGALHÃES, C.H.N. **Conservação de energia: Estratégia privilegiada ?**. Seminário - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003.

RAMOS, M.C.G. **A conservação, considerando aspectos relacionados à qualidade de energia elétrica na indústria têxtil: estudo de caso**. 2002. 148p. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

RAMOS, M.C.G., PENTEADO, A.A.P. Methodology for the Resizing the Spinning Machine Motors at Textile Industry: a Case Study. In: CONFERÊNCIA DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS, 5., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: 2002. p. 1-4.

REIS, L.B. **Geração de Energia Elétrica**. A geração de energia elétrica e o desenvolvimento sustentável. São Paulo: Zapt, 2000. p. 19-23.

RESOLUÇÃO n. 185. Estabelece critérios para cálculo e aplicação dos recursos destinados à Pesquisa e Desenvolvimento, bem como em Eficiência Energética, pelas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. In: AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Eficiência Energética**. 2001. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 14 ago. 2004.

SANTOS, V.A., SOARES, G.A., PERRONE, F.P.D., MOREIRA, M.A.G., PONTES, R.O. Programa nacional de eficiência na indústria: direcionando o foco para sistemas motrizes. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 17., 2003, Uberlândia. **Anais...**Uberlândia: 2003. p. 1-6.

SENS, M.R. Avanços Tecnológicos nos Motores Elétricos. **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo, p. 23-27, abr.1985.

SOARES, G.A., HERSZTERG, I., TABOSA, R. Os Motores de Indução de Alto Rendimento dentro de uma Visão de Gerenciamento pelo lado da Demanda. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 14., 1997, Belém. **Anais...** Belém: 1997. p. 1-7.

STEVENSON JR., W.D. **Sistemas Elétricos de Potência**. USA: McGraw Hill, 1962. p. 282-310.

TUPIASSÚ, A.F., BRANCO, T.M.M. Computation of Mechanical Load Torque for Induction Motor Energetic Optimization. In: CONFERÊNCIA DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS, 5., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: 2002. p. 1-6.

VEIGA, J.R.C. **Oportunidades de negócio com a repotenciação de usinas: aspectos técnicos, econômicos e ambientais**. 2001. 81 p. Dissertação Mestrado – Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

WEG. **Catálogo Geral de Motores Elétricos: Características, especificação, instalação e manutenção**. Jaraguá do Sul, SC, 2004. 130 p.

WORKSHOP de instalações elétricas de baixa tensão. In: SCHNEIDER ELECTRIC. **Eficiência energética e acionamento de motores**. Disponível em <<http://www.Schneider.com.br>> Acesso em: 20 jul. 2004.