

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
MARCIA GABRIELA ASSIS DE MOURA

ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE
MOTORES ELÉTRICOS DE *FANCOIL* EM UM
CENTRO EMPRESARIAL NA CIDADE DE SÃO
PAULO

SÃO PAULO
2016

MARCIA GABRIELA ASSIS DE MOURA

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE
MOTORES ELÉTRICOS TRIFÁSICO DE FANCOIL
EM UM CENTRO EMPRESARIAL NA CIDADE DE
SÃO PAULO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial
para a obtenção do título de Especialista
em energias renováveis, geração
distribuída e eficiência energética da
Universidade de São Paulo.

Orientador: Professor MSc. Eduardo Yamada

SÃO PAULO
2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço meu professor orientador pelo conhecimento dividido durante as aulas e o apoio durante a elaboração desta monografia.

Agradeço meus colegas de turma que me proporcionou conhecimentos diversificados de outras áreas da minha formação durante as aulas e trabalhos.

Agradecimento especial ao apoio dos meus familiares, amigos e noivo que compreenderam minha ausência durante o período deste curso.

RESUMO

Foi realizado um estudo de comprovação de ganhos em eficiência energética no sistema de ar condicionado de um Centro Empresarial localizado na cidade de São Paulo, com mais de 17 anos de operação. O trabalho constituiu-se na substituição e redimensionamento de 68 motores trifásicos com rotor gaiola de esquilo dos equipamentos de *Fancoil*, realizou-se através do estudo comparativo das medições de consumo dos motores na mesma condição de trabalho, além disso foi avaliada pelo cliente a viabilidade da substituição dos motores para redução de custos de demanda de energia elétrica e manutenção do sistema.

Palavras Chave: Alto rendimento, Motor de *Fancoil*, Viabilidade

ABSTRACT

To carry out a study of Evidence of gains in energy efficiency in the air conditioning system of a Business Center located in the city of São Paulo, with more than 17 years of operation. The work consisted in the substitution and re-sizing of 68 three-phase motors with squirrel cage rotor of Fancoil equipment, through a comparative study of the measurements of consumption of the motors in the same working condition, besides it was evaluated by the client the viability of the substitution of the Motors to reduce the costs of electricity demand and maintenance of the system.

Keywords: High performance, Fancoil engine, Feasibility

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Consumo global de energia do Brasil nos principais setores

FIGURA 2.2: Usos de energia elétrica por setor

FIGURA 2.3: Utilização de energia elétrica no setor comercial

FIGURA 3.1: Tipos de motores elétricos

FIGURA 3.2: Motor de indução trifásico

FIGURA 3.3: Equação de cálculo de rendimento

FIGURA 3.4: Comparação entre o rendimento de motores convencionais IR1 e de alto rendimento IR3

FIGURA 3.5: Rendimento de motores elétricos

FIGURA 3.6: Influência dos motores no fator de potência

FIGURA 6.1: Foto motor Original / Dados de Placa

FIGURA 6.2: Foto do motor substituído / Especificação técnica

FIGURA 6.3: Gráfico de medição do consumo no período de 12 horas / Motor linha padrão

FIGURA 6.4: Gráfico de medição do consumo no período de 12 horas / Motor alto rendimento

LISTA DE TABELAS

FIGURA 4.1: Tabela com as principais trocas de material em motor

FIGURA 4.2: Razões de sobrecarga mais frequentes

FIGURA 6.1: Dados do estudo de caso

FIGURA 7.1: Dados base para cálculo de redução de consumo de energia elétrica

FIGURA 7.2: Tabela de cálculo de redução de custos com manutenção corretiva

FIGURA 7.3: Cálculo do consumo médio anual dos 71 motores

FIGURA 7.4: Cálculo dos gastos com manutenção corretiva anual dos 71 motores

FIGURA 7.5: Cálculo global da viabilidade da substituição de motores de alto rendimento

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAG	Central de água gelada
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras
ESA	Eletrotécnica Santo Amaro
MME	Ministério de Minas e Energia
PECE	Programa de educação continuada poli USP
PROCEL	Programa nacional de conservação de energia elétrica
PNE	Portadores de necessidades especiais
DML	Deposito de material de limpeza
TR	Tonelada de refrigeração
HH	Homem hora

LISTA DE SÍMBOLOS

η Rendimiento de motor

SUMÁRIO

	p.
1. INTRODUÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA	2
2.1 Motores elétricos nos sistemas de ar condicionado em empreendimentos.....	5
3 REFERENCIAL TEÓRICO	6
3.1 Motores elétricos	6
3.1.1 Tipos de Motores	6
3.2 Características gerais do motor de alto rendimento	9
3.3 Considerações sobre motores linha padrão e de alto rendimento	10
3.4 CARREGAMENTO (CARGA) DOS MOTORES	14
4 AS DIFERENTES FORMAS DE MANUTENÇÃO	17
4.1 Manutenção Corretiva	17
4.2 Manutenção Preventiva	17
4.3 Manutenção Preditiva.....	17
4.4 Manutenção Detectiva.....	18
5 MANUTENÇÃO EM MOTORES ELÉTRICOSERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
5.1 Principais manutenções realizadas em motores elétricos	19
6 METODOLOGIA	21

7	ESTUDO DE CASO	22
7.1	DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	23
7.1.1	Sistema de Fancoil	23
7.1.2	Regime Operativo do empreendimento	24
7.1.3	Levantamento de dados para o estudo de caso.....	24
7.1.4	Medição de Consumo do Motor Original padrão e Motor de alto rendimento	
	27	
8	ANÁLISE DOS RESULTADOS	29
8.1	Redução do consumo e custo de energia	29
8.2	Redução de custos de manutenção corretiva	30
8.3	Custos da manutenção preventiva	31
8.4	Redução com estocagem de material.....	31
8.5	Calculo final de viabilidade.....	33
9	CONCLUSÕES	36
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

O motor elétrico é o mais importante uso final de energia elétrica no país, tendo grande participação no setor industrial. No Brasil, a quantidade de energia que eles processam é de aproximadamente 60% da energia elétrica total consumida no país. Diante disto, qualquer iniciativa que se desenvolva para aumentar o rendimento destes equipamentos, trará benefícios ambientais, energéticos e, principalmente, redução de custos, com aumento da competitividade. (ELETROBRAS,2016)

Há mais de duas décadas que governo federal vem desenvolvendo esforços para incentivar a redução do consumo de energia elétrica e demanda acarretando em diminuição de custos. A partir de 2010 (de acordo com a Portaria Interministerial 553 de 2005), somente motores elétricos com eficiências iguais ou superiores aos de alto rendimento, sob as especificações regulamentadas, podem ser fabricados, comercializados e importados no Brasil. Em 2015 a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), lançou o projeto “Incentivo à substituição de motores elétricos: promovendo a eficiência energética no segmento de força motriz”, para a troca de motores antigos por motores de alto rendimento, com este novo cenário para que os empreendimentos permaneçam competitivos no mercado, cria-se a necessidade do retrofit em seus equipamentos/motores. (ANEEL,2015)

2. JUSTIFICATIVA

Não é possível escrever a história da indústria sem considerar a energia elétrica e motor elétrico como foco do enredo. Seu desenvolvimento e competitividade sempre estiveram ligados à facilidade e disponibilidade de energia para os processos produtivos. Esta realidade se mantém na atualidade e a busca por energéticos competitivos é contínua no setor industrial e comercial.

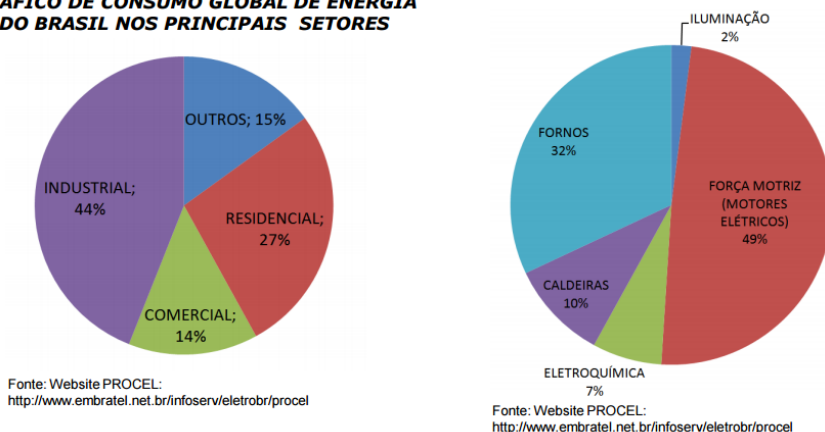
A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) lançou uma nova frente de ação para estimular a troca de motores elétricos antigos por equipamentos mais modernos e eficientes, dentro da política de incentivo a ações que façam o Brasil produzir mais, mas gastando menos energia. Trata-se do projeto “Incentivo à substituição de motores elétricos: promovendo a eficiência energética no segmento de força motriz”, lançado com a publicação de chamada pública no Diário Oficial da União.

No entanto, cita material da Aneel, o que se constata em pesquisas de mercado é que a prática de recondicionamento de motores antigos tem se tornado cada vez mais comum no setor industrial/comercial. Com uma média de vida útil superior a 15 anos, sabe-se que uma expressiva parte dos motores em utilização no parque industrial brasileiro é de fabricação anterior a dezembro de 2009.

Esse grande número de equipamentos, ainda em atividade, não atende aos níveis mínimos de eficiência definidos pelas regulamentações do setor. Com a idade avançada dos equipamentos e uma perda natural de sua eficiência no decorrer do tempo, constata-se que diversos estabelecimentos do setor industrial adquirem produtos usados e reconicionados, com um preço atrativamente mais baixo, ou ainda solicitam o recondicionamento de seus motores antigos com empresas especializadas.

Conforme a Figura 01 do gráfico do consumo global de energia do Brasil verifica-se que o principal setor de consumo é a força eletromotriz, destaca-se a necessidade de redução de consumo neste setor devido a alta demanda. (Apostila PECE ERG004,2015).

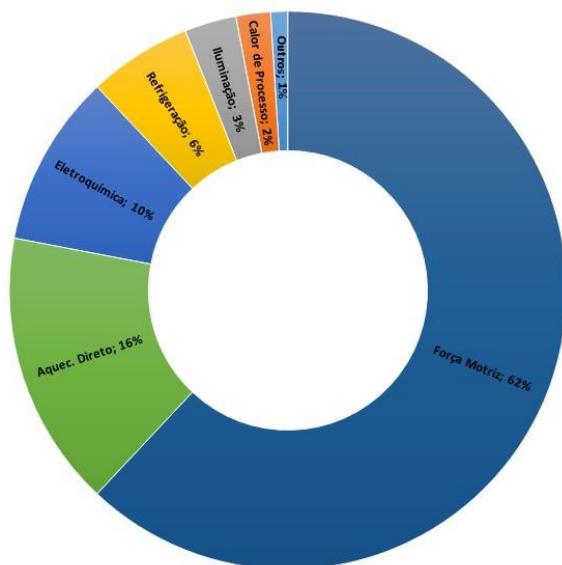
GRÁFICO DE CONSUMO GLOBAL DE ENERGIA DO BRASIL NOS PRINCIPAIS SETORES



Fonte: Apostila PECE ERG004,2015

FIGURA 2.1: Consumo global de energia do Brasil nos principais setores

No Brasil, de acordo com MME (Ministério de Minas e Energia)no documento “Plano Nacional de Eficiência Energética”, a indústria consome 43,7% de toda energia elétrica nacional e a força motriz em operação usa 62% ou 68% (incluindo refrigeração) dessa energia elétrica. Sendo assim, constata-se que aproximadamente 30% de toda a energia elétrica do país é consumida por motores elétricos, dados observados no gráfico da figura 2.2:

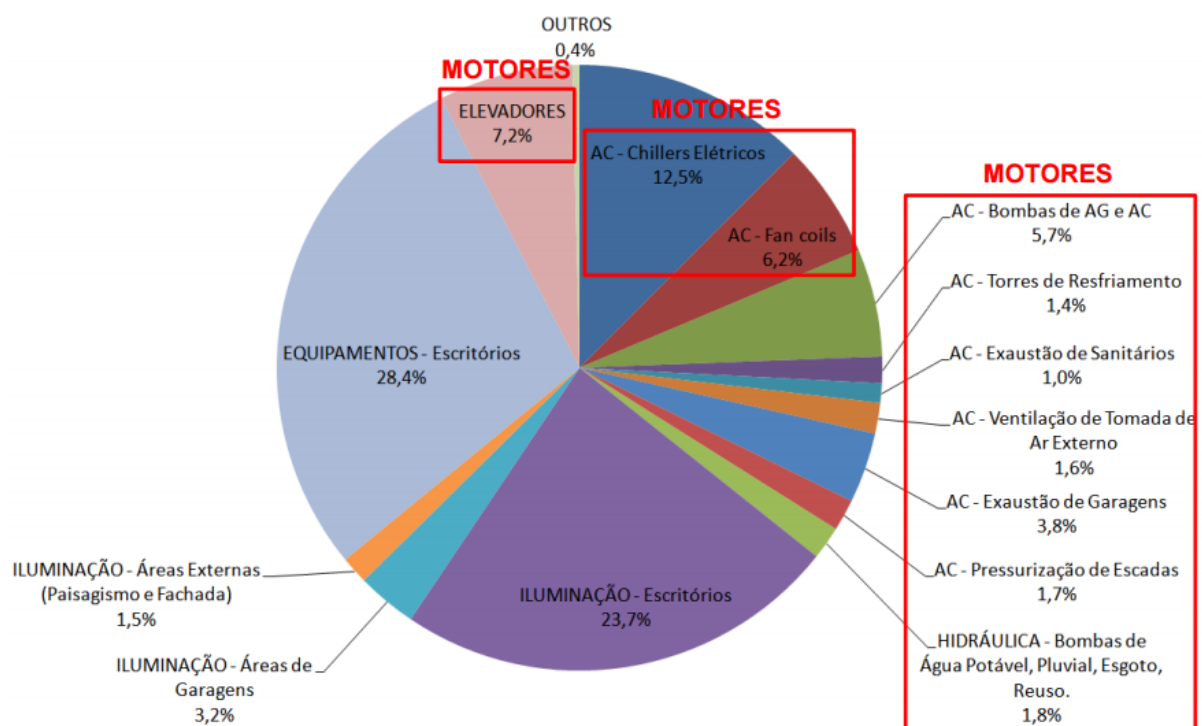


Fonte: BEU,2005

FIGURA 2.2: Usos de energia elétrica por setor

2.1 Motores elétricos nos sistemas de ar condicionado em empreendimentos

O gráfico da figura 2.3 abaixo demonstra toda a utilização de energia elétrica no setor comercial, a subdivisão de motores corresponde a aproximadamente 43%, confirmando a importância dos motores no setor.



Fonte: Apostila PECE ERG004,2015

FIGURA 2.3: Utilização de energia elétrica no setor comercial

O principal objetivo deste estudo é a promoção da substituição de motores elétricos antigos ou reconicionados por motores mais modernos e mais eficientes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Motores elétricos

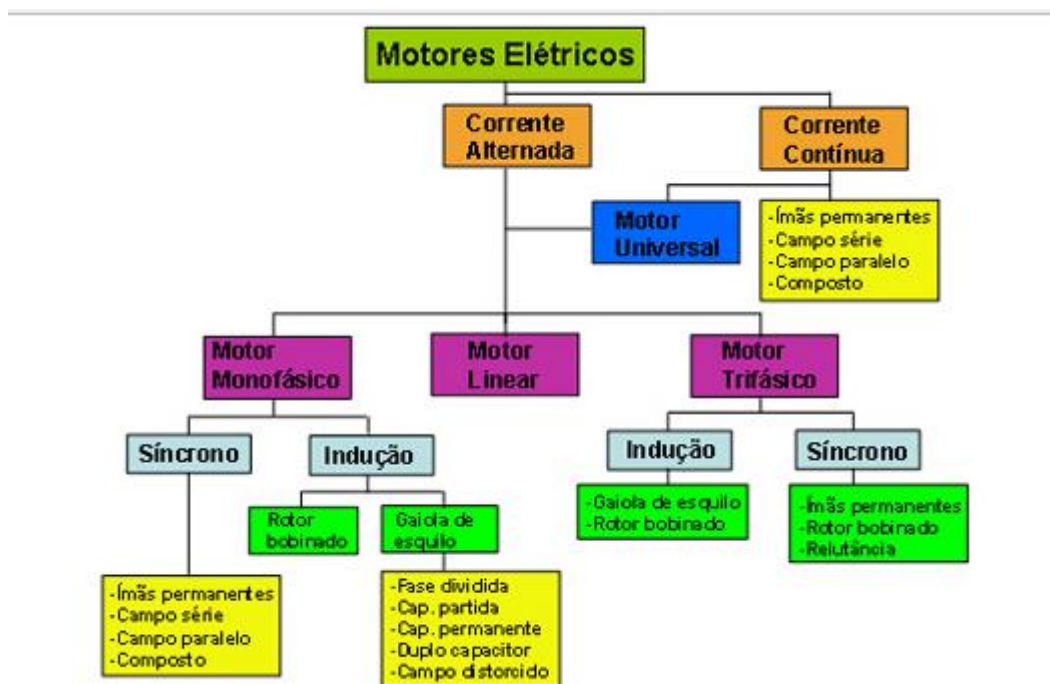
O motor elétrico é um conversor de energia elétrica em energia mecânica com baixas perdas quando operado em condições nominais e mantido de acordo com as manutenções recomendadas. Sendo assim, seu real consumo refere-se às suas perdas internas, com a maior parte da energia elétrica sendo convertida para acionar a carga mecânica.

3.1.1 Tipos de Motores

- a) **Motores de corrente contínua:** São motores de custo mais elevado e, além disso, precisam de uma fonte de corrente contínua, ou de um dispositivo que converta a corrente alternada comum em contínua. Podem funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão. Por isso, seu uso é restrito a casos especiais em que estas exigências compensam o custo muito mais alto da instalação
- b) **Motores de corrente alternada:** São os mais utilizados, porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada. Os principais tipos são:
 - Motor síncrono: Funciona com velocidade fixa; utilizado somente para grandes potências (devido ao seu alto custo em tamanhos menores) ou quando se necessita de velocidade invariável;
 - Motor de indução: Funciona normalmente com uma velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas,

encontradas na prática. Atualmente é possível controlarmos a velocidade dos motores de indução com o auxílio de inversores de frequência

Segue esquema ilustrado na figura 3.1 referente aos tipos de motores elétricos:

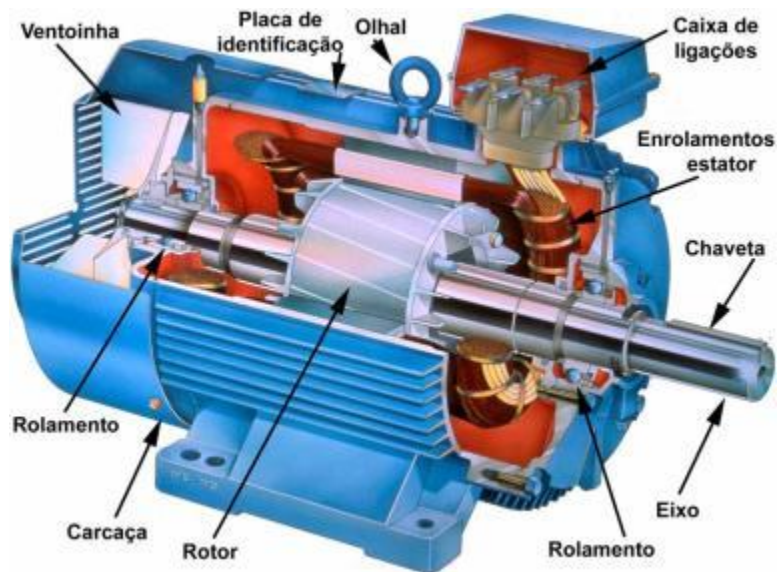


Apostila PECE ERG004,2015

FIGURA 3.1: Tipos de motores elétricos

O motor elétrico de indução do tipo gaiola de esquilo é o mais importante uso final de energia elétrica no País. No Brasil, a quantidade de energia por ele processada é superior a 30% da energia total gerada. Diante disso, qualquer iniciativa que se desenvolva para aumentar o rendimento destes equipamentos trará grande economia ao País. (PROCEL,2015)

O motor de indução trifásico, que pode ser observado na Figura 3.2, é composto fundamentalmente por duas partes: estator e rotor:



Fonte: WEG, 2002

FIGURA 3.2: Motor de indução trifásico

Estator

- Carcaça - é a estrutura suporte do conjunto de construção robusta em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e normalmente com aletas.
- Núcleo de chapas - as chapas são de aço magnético.
- Enrolamento trifásico - três conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico equilibrado ligado à rede trifásica de alimentação.

Rotor

- Eixo - transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor.
- Núcleo de chapas - as chapas possuem as mesmas características das chapas do estator.
- Barras e anéis de curto-circuito - são de alumínio injetado sob pressão numa única peça.

Outras partes do motor de indução trifásico:

- Tampa
- Ventilador
- Tampa defletora
- Caixa de ligação
- Terminais
- Rolamentos

3.2 Características gerais do motor de alto rendimento

Os motores de alto rendimento são projetados para possuir um rendimento superior ao do motor linha padrão, porém fornecendo a mesma potência útil (na ponta do eixo). Isso é possível devido às características construtivas deste tipo de motor, que gera menos perdas, consequentemente reduzindo a temperatura e aumentando sua vida útil. As principais vantagens do motor AR (alto rendimento), quando comparado com o motor LP (linha padrão), são:

- Economia no consumo de energia elétrica;
- Fator de potência maior, na maioria deles;
- Temperatura de operação mais baixa, devido à redução de perdas em até 40%;
- Vida útil maior, devido ao menor stress térmico;
- Maior tolerância a condições anormais de alimentação, por trabalharem magneticamente menos saturados;
- Rendimento maior e mais constante, mesmo com cargas abaixo da nominal;
- Menor necessidade de manutenção;
- Preserva o meio ambiente.

Resumidamente, esse tipo de motor tem um desempenho superior ao motor da linha padrão, mas, como todo equipamento, ele também apresenta desvantagens, como:

- Custo inicial mais elevado do que o do motor da linha padrão;

- Geralmente são mais pesados e ocupam um espaço maior;
- Só existe justificável economia de energia para o fator de carga alto.

3.3 Considerações sobre motores linha padrão e de alto rendimento

O Motor de Alto Rendimento, como seu próprio nome sugere, possui como característica um rendimento superior ao motor padrão e, conseqüentemente, perdas reduzidas. Isto é possível devido a mudanças no projeto, materiais e processos de fabricação melhores.

Um motor de alto rendimento tem bastantes benefícios económicos, pois o custo de um motor não envolve somente o seu preço inicial, mas também o seu custo operacional. O preço inicial do motor de alto rendimento é superior ao motor das linhas padrão. O motor de alto rendimento consome menos energia para executar o mesmo trabalho realizado por outro da linha padrão porque possui maior rendimento. Após algum tempo de operação, a economia obtida deverá compensar e até ultrapassar a diferença entre o seu preço e o do motor equivalente da linha padrão. A economia no consumo de energia e o tempo de retorno do investimento, ao se optar por um motor de alto rendimento ao contrário de outro da linha padrão, são funções dos seus rendimentos, do tempo de operação, da potência solicitada pela carga, da tarifa de energia elétrica e dos seus preços iniciais. Se um motor operar H horas por ano, solicitando da rede elétrica uma potência ativa P (em kW), a energia elétrica consumida por ano pode ser calculada da seguinte maneira:

$E = H \times P$, o tempo de retorno do investimento num motor tem em conta o custo da energia elétrica do país.

Assim sendo, observa-se que o tempo de retorno de investimento é tanto menor quanto maior for:

- A tarifa de energia;
- O número de horas de operação;
- A diferença entre os rendimentos;

- A potência da carga.

O desempenho de motores elétricos, de uma forma global, está associado aos seguintes parâmetros:

- Rendimento;
- Fator de potência;
- Velocidade de operação;
- Capacidade de aceleração;
- Classe de isolamento;
- Corrente de arranque;
- Ruído;
- Temperatura de operação;
- Tipo de carcaça.

A especificação técnica deve definir os requisitos de desempenho e descrever as condições nas quais o motor irá operar. Um balanço entre os vários parâmetros de desempenho pode resultar num decréscimo do rendimento do motor se a especificação técnica não estiver cuidadosamente elaborada. Em condições normais de funcionamento, o motor deve se adequar à carga, ou seja, deve operar entre 75% e 100% da potência nominal. O motor de alto rendimento, bem dimensionado e bem explorado, proporcionará uma máxima economia de energia permitindo obter elevados rendimentos e fator de potência. Um motor de alto rendimento é especificado da mesma forma que outro da linha padrão. Geralmente, ambos possuem a mesma carcaça padronizada, pelo que nenhuma modificação especial é necessária para trocar um motor padrão por um de alto rendimento. O fator de potência é o fator que relaciona a potência que o motor realmente precisa para acionar a carga e para cobrir as suas perdas internas, e a potência total solicitada à rede, chamada de potência aparente.

A potência aparente engloba duas componentes distintas de potência:

- Potência ativa (P), relacionada com trabalho mecânico e perdas W;

- Potência reativa (Q), necessária para magnetização, ou seja, para assegurar a existência dos campos magnéticos. É importante que se trabalhe com um fator de potência elevado. A legislação atual exige que as indústrias operem com um determinado fator de potência mínimo especificado para que não existam grandes penalizações financeiras. A correção do fator de potência geralmente pode ser feita com a instalação de banco de capacitores que apresentam a propriedade de reduzir a energia reativa indutiva da rede de alimentação.

A operação eficiente dos motores de indução trifásicos depende, entre outras coisas, da qualidade da rede elétrica de alimentação. As principais distorções que ocorrem na rede trifásica são:

- Variação da tensão e/ou frequência;
- Desequilíbrio da rede trifásica, com as tensões apresentando diferentes amplitudes e/ou defasamentos;
- Conteúdo de harmônicos.

Existem certas características construtivas que são necessários ter em conta de acordo com o local em que se quer inserir o motor. Por exemplo, se um motor for inserido num local sujeito a jatos de água deve possuir um invólucro capaz de suportar tais jatos, sob determinados valores de pressão. Um motor é uma máquina robusta que quando utilizada apropriadamente, irá operar por vários anos com o mínimo de manutenção. Uma manutenção preventiva e uma inspeção do motor e do sistema elétrico de alimentação dele poderão aumentar-lhe o tempo de vida útil. A vida de um motor termina praticamente quando o isolamento dos seus terminais se deteriora, tornando-se ressequido e quebradiço.

O rendimento é a razão entre a potência mecânica desenvolvida no eixo do motor e a potência elétrica ativa que ele consome da rede de alimentação, conforme demonstrada na equação demonstrada na figura 3.3. Ao considerarmos que a potência de entrada seja igual à soma da potência de saída mais as perdas, temos:

$$\eta(\%) = \frac{P_{in} - P_{perdas}}{P_{in}} \times 100$$

Onde:

$\eta(\%)$ = Rendimento percentual;

P_{in} = Potência de entrada (W);

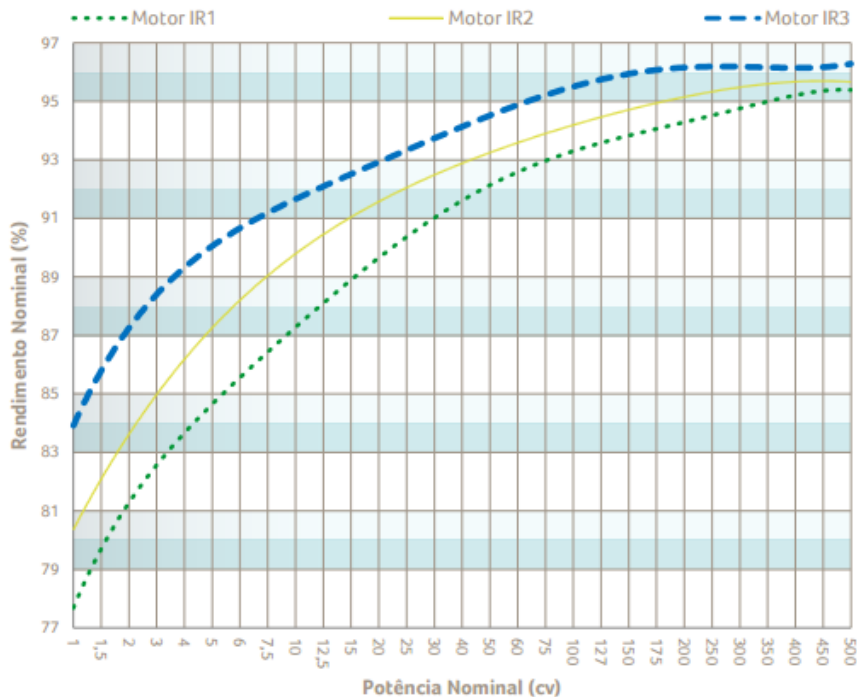
P_{perdas} = Somatório das perdas (W).

Fonte: Apostila PECE ERG004,2015

FIGURA 3.3: Equação de cálculo de rendimento

As perdas menores do motor de alto rendimento significam que este motor produz a mesma potência mecânica de saída com menos potência de entrada que um motor-padrão. Desta maneira, o motor de alto rendimento tem custo de operação menor.

A Figura 3.4 mostra uma comparação entre o rendimento de motores convencionais IR1 e de alto rendimento IR3.



Fonte: Guia de Motor Eletrobrás

FIGURA 3.4: Comparação entre o rendimento de motores convencionais IR1 e de alto rendimento IR3.

3.4 CARREGAMENTO (CARGA) DOS MOTORES

Para se calcular o carregamento do motor é necessário:

P= Carregamento Dimensionado

Pn= Carregamento Pleno (100%) ou Capacidade Nominal do Motor

$$\text{Carregamento} = \frac{P}{P_n}$$

Fonte: Apostila PECE ERG004,2015

É comum encontrar motores superdimensionados, operando com baixa porcentagem de carga, ou ainda, motores superdimensionados, operando com

cargas acima do especificado, implicando em baixa eficiência e redução de vida útil. Estima-se que aproximadamente 40% dos motores operam abaixo de 50% da sua capacidade nominal e por isso o projeto e a seleção destes equipamentos deve ser muito criterioso e assertivo, levando-se em conta todos os dados relacionados à carga acionada (aplicação) e a instalação. WEG, 2015

SUPERDIMENSIONAMENTO: Motor operar com carregamento abaixo de 50% em relação à capacidade nominal, ou seja:

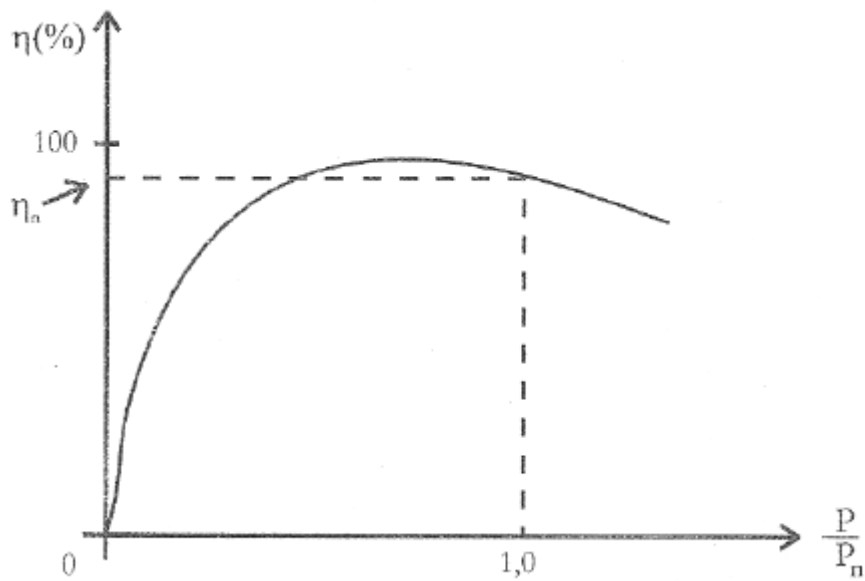
$$P / P_n < 50\%$$

CONSEQUÊNCIAS:

- Custo desnecessário de compra de motores de potência e capacidade maior;
- Maior custo de energia elétrica por apresentar rendimento menor;
- Penalidades com baixo fator de potência;
- Custo com instalação de bancos de capacitores.

3.4.1 RENDIMENTO DOS MOTORES ELÉTRICOS:

- Determinado pela NBR 5383;
- Variável em função da carga ou carregamento;
- Geralmente o rendimento é máximo em torno de 75% do carregamento;
- Em condições de funcionamento o motor deve operar entre 75% a 100% do carga nominal.

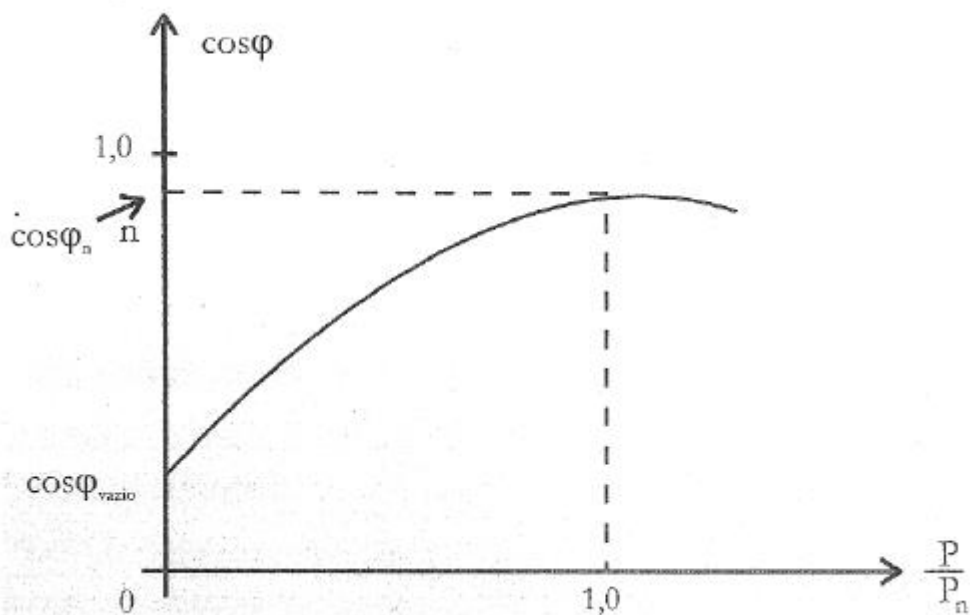


Fonte: Apostila PECE, 2015

FIGURA 3.5: Rendimento de motores elétricos

3.4.2 INFLUÊNCIA DOS MOTORES NO FATOR DE POTÊNCIA ($\cos \varphi$):

- Em “vazio” o Fator de Potência se torna muito baixo → Potência ativa entregue ao motor é usada para suprir as perdas;
- Em torno de 100% de carregamento (SEM Superdimensionamento)
- Fator de Potência atinge o valor máximo.



Fonte: Apostila PECE, 2015

FIGURA 3.6: Influência dos motores no fator de potência

4 AS DIFERENTES FORMAS DE MANUTENÇÃO

Existem 3 (três) abordagens básicas para manutenção: Manutenção Corretiva, Preventiva e Preditiva. Segundo SLACK et al. (2002), as atividades de manutenção consistem na combinação dessas abordagens. Atualmente adota-se outras abordagens de Manutenção: Manutenção Detectiva, Engenharia de Manutenção e Manutenção Centrada na Confiabilidade.

4.1 Manutenção Corretiva

É a manutenção feita após a quebra do equipamento. Segundo SLACK et al. (2002, p.645), "significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra de o equipamento ter ocorrido [...]".

4.2 Manutenção Preventiva

É a manutenção feita antes do acontecimento de falhas e quebras. "(...) Visa eliminar ou reduzir as probabilidades de falhas por manutenção (limpeza, lubrificação, substituição e verificação) das instalações em intervalos de pré planejados" (SLACK et al., 2002, p.645).

4.3 Manutenção Preditiva

Consoante SLACK et al. (2002, p.645), a manutenção preditiva:

(...) visa realizar manutenção somente quando as instalações precisarem dela. Por exemplo, os equipamentos de processos contínuos, como os usados para cobrir papel fotográfico, funcionam por longos períodos de modo a conseguir a alta utilização necessária para a produção eficiente em custos.

A base pela qual se define o tempo ideal para realização de manutenção é feita por monitoramento dos equipamentos.

4.4 Manutenção Detectiva

Manutenção detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não-perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. Ex.: o botão de lâmpadas de sinalização e alarme em painéis. A identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Em sistemas complexos, essas ações só devem ser levadas a efeito por pessoal da área de manutenção, com treinamento e habilitação para tal, assessorado pelo pessoal de operação (ARAÚJO e SANTOS, 2008).

4.5 Principais manutenções realizadas em motores elétricos

A tabela I e II da figura 5.2 e 5.3 apresentam as principais defeitos, causas e sobrecargas e cuidados com motores elétricos:

TABELA 4.1: Tabela com as principais trocas de material em motor

Nº	Defeito	Sistemas Externos	Sintomas Internos	Causas	Razões mais frequentes	Cuidados Futuros
01	Estator queimado por sobrecarga	- Temperatura alta da carcaça; - Cheiro de queimado; - Atuação das proteções; - Baixa Resistência de Isolamento nas 3 fases.	- Cabeças das bobinas uniformemente carbonizadas nas 3 fases.	Sobrecarga baixa durante um tempo longo ou sobrecarga forte por tempo curto.	VER TABELA 4.2	
02	Fase queimada	- Costuma acontecer em motores delta; - Baixa resistência de isolamento à massa de 1 fase; - Baixa resistência ôhmica da fase.	- Bobinas de fase carbonizada; - As duas outras fases intactas; - Sinais de curto na fase.	Falta de uma fase da alimentação. O motor ficou rodando como monofásico (com toda a carga).	- Fusível queimado numa fase; - Condutor de fase com interrupção.	- Verificar cabos e painéis; - Verificar o nível de rotação das proteções.
03	Duas Fases queimadas	- Costuma acontecer em motores Y; - Duas fases com baixa resistência de isolamento à massa; - Resistência ôhmica alterada em uma ou nas duas fases queimadas.	- Duas fases carbonizadas; - Uma fase intacta; - Às vezes, sinais de descarga entre espiras nas fases queimadas.	- Falta de uma Fase- motor rodando em monofásico.	- Cabo de fase interrompido; - Fusível queimado; - Falha no disjuntor térmico.	IDEM ITEM II
04	Curto entre duas fases	- As três fases com resistência de isolamento boa para a massa; - Resistência de isolamento nula entre 2 fases.	- Sinal de descarga entre duas fases, quase sempre na cabeça das bobinas.	- Colapso do isolante; - Sobreensão momentânea (manobra)	- Umidade excessiva; - Baixa resistência de isolamento entre fases; - Motor parado muito tempo.	IDEM ITEM II
05	Curto entre fase e massa	- 2 fases com boa resistência de isolamento entre si; - 1 fase "furada" para a massa; - Resistência ôhmicas certas em duas fases; - Resistência boa ou nula na fase "furada".	- Muitas vezes não são visíveis; NOTA: Algumas proteções não atuam com o defeito se não houver interrupções por arco.			
06	Fase Interrompida	- Nos motores Y: interrupção ôhmica entre um borne e os outros dois; - Nos motores estrela: Nas 3 medições ôhmicas, uma é dupla das outras duas.				

Fonte: Guia de Motor Eletrobrás

TABELA 4.2: Razões de sobrecarga mais frequentes

	RAZÕES	FAZER	DETERMINAR	COMPARAR	SOLUÇÕES FUTURAS
01	Motores acoplados a ventiladores e a telas transportadoras com alto tempo de partida.	Análise da partida de motores a partir da curva de binário motor e binário resistente.	Curva de aceleração - Tempo de partida.	Rotor bobinado versus gaiola.	- Gaiola dupla alta resistência; - Acoplador hidráulico; - Resistência Rotórica.
02	Rozamento do motor no estator devido a falha do rolamento.				Verificar as causas de falha do rolamento.
03	Sobrecarga (pequena) deliberada - regulagem alterada da proteção térmica.				- Proibir sobrecarga; - Colocar motor de maior potência;
04	Tensão excessivamente pequena - sobre-intensidade resultante e má regulagem do relé (ou térmico) de sobre-intensidade.				Ver causa da queda de tensão.

Fonte: Guia de Motor Eletrobrás

5 METODOLOGIA

Este trabalho foi baseado em uma necessidade da empresa que administra, opera e mantém um empreendimento corporativo comercial na busca de redução de consumo energético dos sistemas prediais. Foi verificado pela empresa, que, dos sistemas prediais que possuem motores elétricos, o sistema de condicionamento de ar é o que apresenta a maior participação no consumo energético global relacionado a força motriz.

Dentro deste sistema foi constatado que os motores elétricos das unidades fancoil são os que oferecem maior potencial para redução de consumo de energia, já que são motores antigos e da linha padrão. Os demais motores do sistema de condicionamento de ar, tais como, motores de bomba água gelada, bombas de condensação e motores do chillers de condensação a água não foram objeto de estudo já que se encontram em operação adequada e eficiente.

Logo, este trabalho foi baseado em um estudo levantado pela empresa ESA – Assistência Técnica de Santo Amaro / WEG que desenvolve projetos de instalação e manutenção de motores elétricos em empreendimentos, de acordo com a solicitação da empresa administradora. A princípio era somente um orçamento de interesse comercial, porém tornou-se relevante devido a economia de consumo de energia e redução de custos com manutenção, em relação aos motores existentes.

Foi realizado a Comprovação de ganhos em eficiência energética nos sistemas de *Fancoil* no Centro Empresarial, com a substituição de motores de modelo padrão para motores do fabricante de alta eficiência e custos de operação reduzidos. Este motor possui excelente relação custo-benefício, redução do consumo de energia elétrica, baixos níveis de ruído e fácil manutenção são algumas das características que definem esse produto.

6 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso apresentado a seguir foi estruturado a partir da necessidade de redução de consumo de energia elétrica no setor de refrigeração em um edifício de escritórios de alto padrão, neste caso será chamado de Centro Empresarial, localizado na cidade de São Paulo em uma região nobre, o empreendimento é considerado cartão postal. A Torre estudada possui 140.000 m² de área construída e 60.400 de área locável, 35 andares e 5 subsolos.

O projeto de climatização e refrigeração é composto por:

- 01 Central de água gelada (3 Centrifugas de 700 TR)
- 34 Casas de máquinas de climatização (Unidades climatizadoras tipo FanCoil)
- 12 Casas de máquinas de ventiladores e exaustores de garagem

No estudo de levantamento da empresa ESA foi considerado a troca amostral de um motor de *fancoil* da linha padrão instalado em 1999 da fabricante ERBERLE para um motor de alto rendimento da fabricante WEG. Com base nos resultados apresentados neste estudo, foi expandida a mesma metodologia para todos os motores de *facoil* do empreendimento.

O sistema após sua conclusão, irá apresentar ganhos na economia no consumo de energia, operação e manutenção e ganhos comerciais, tais como apresentar o empreendimento como econômico e modernizado de acordo com a tendências de mercado.

6.1 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O *centro empresarial* é um empreendimento de grande porte que possui 35 andares e 5 subsolos:

- a) **Subsolos:** Estacionamentos, casa de máquinas (CAG / ventiladores e exaustores), casa de geradores, docas, sala de administração e de prestadores de serviço.
- b) **Andares:** Torre Norte do 2º ao 36º: hall dos elevadores sociais, hall do elevador de serviço, sanitários masculino, feminino e PNE, Dmí's, casa de máquinas, circulações e escadas..
- a) **Cobertura:** Torres de Resfriamento, casa de máquinas, escadarias e heliponto.

6.1.1 Sistema de *Fancoil*

O sistema de ventilação é composto de 68 unidades condicionadoras de ar do tipo *fancoil*, existentes em Casas de Máquinas na área comum de cada andar, ligados a uma rede de dutos de ventilação, construídos em chapas de aço galvanizadas e o retorno é através do forro (plenum):

- 68 *FanCoils* da marca YORK, com capacidade de 30 TR;
- 2 *FanCoil* da marca YORK com capacidade de 35 TR;
- 1 *FanCoil* da marca YORK com capacidade de 5TR.

Total de motores de *fancoil* considerados para este trabalho é de 71 unidades.

6.1.2 Regime Operativo do empreendimento

O *Centro empresarial* funciona das 07:00 AM até as 19:00 PM, de segunda a sábado, no entanto, o regime operativo da central (geração de energia elétrica e disponibilidade de ar condicionado) é de 12 horas por dia.

6.1.3 Levantamento de dados para o estudo de caso

Considerações iniciais do estudo:

O estudo abrange a possível substituição de 71 motores dos Fancoils, por motores de alto rendimento.

Foi utilizado uma amostra de motor da linha padrão e substituído por um de alto rendimento, a eficiência foi calculada de acordo com os dados fornecidos pela administradora, conforme tabela 6.1:

TABELA 6.1: Dados do estudo de caso

Custo unitário (R\$/kWh)	R\$ 0,58
Horas de operação/dia	12horas
Dias de operação/ano	288

Fonte: Autor,2016

Na figura 6.2 e 6.3, está descrita todas as informações do motor da linha padrão e atual instalado no empreendimento e o motor de alto rendimento, o que o estudo propõe para substituir:

FIGURA 6.2: Foto motor Original / Dados de Placa

Fonte: Servtec, 2016

Potencia Mecânica: 20 CV

Fabricante: Eberle

Rotação: 1755 rpm

Tipo de Acoplamento: Polia e Correia

Tipo de partida: Inversor de frequência

Tensão Nominal: 220/380 Vac

Corrente Nominal: 52/30 A

Frequência: 60 Hz

FIGURA 6.3: Foto do motor substituído / Especificação técnica



Fonte: Servtec, 2016

Potencia Mecânica: 10 CV

Fabricante: WEG

Rotação: 1760 rpm

Tipo de Acoplamento: Polia e Correia

Tipo de partida: Inversor de frequência

Tensão Nominal: 220/380 Vac

Corrente Nominal: 25,4/ 14,7 A

Frequência: 60 Hz

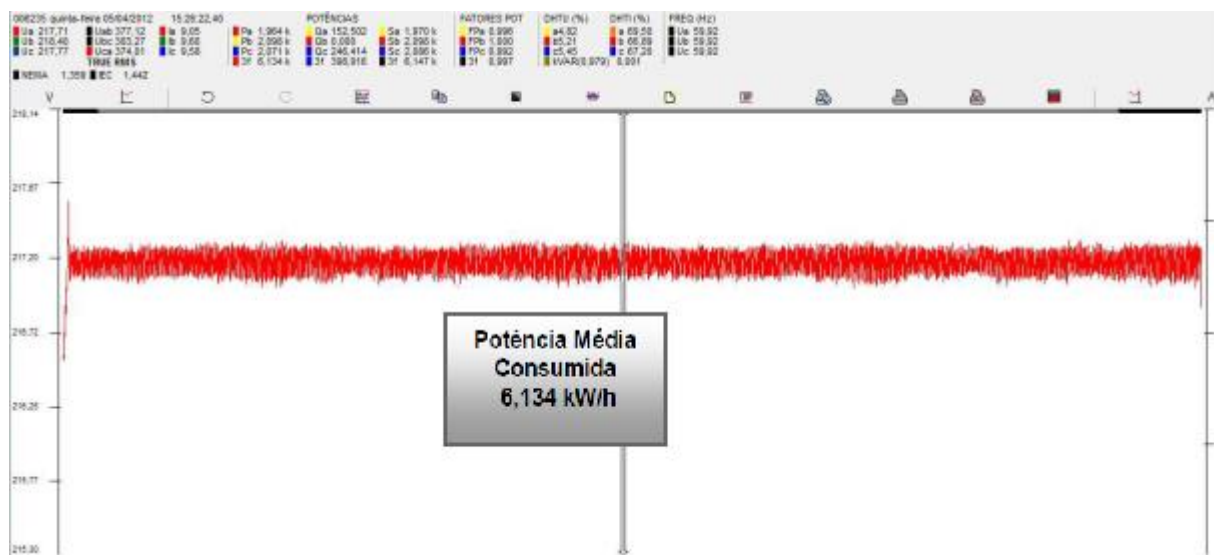
6.1.4 Medição de Consumo do Motor Original padrão e Motor de alto rendimento

Realizado a medição de consumo do KWh durante o período de 12 horas, medições realizadas com analisador de energia RE 6000 da Embrasul. Esta medição irá nos basear para verificar o consumo de energia do motor da linha padrão e motor de alto rendimento.

A empresa fez um estudo de carregamento do motor comprovando que o motor antigo estava com carregamento próximo de 50%, ou seja, superdimensionado, reduzindo a potência de 20 cv para 10 cv, porém atendendo a demanda mecânica do fancoil.

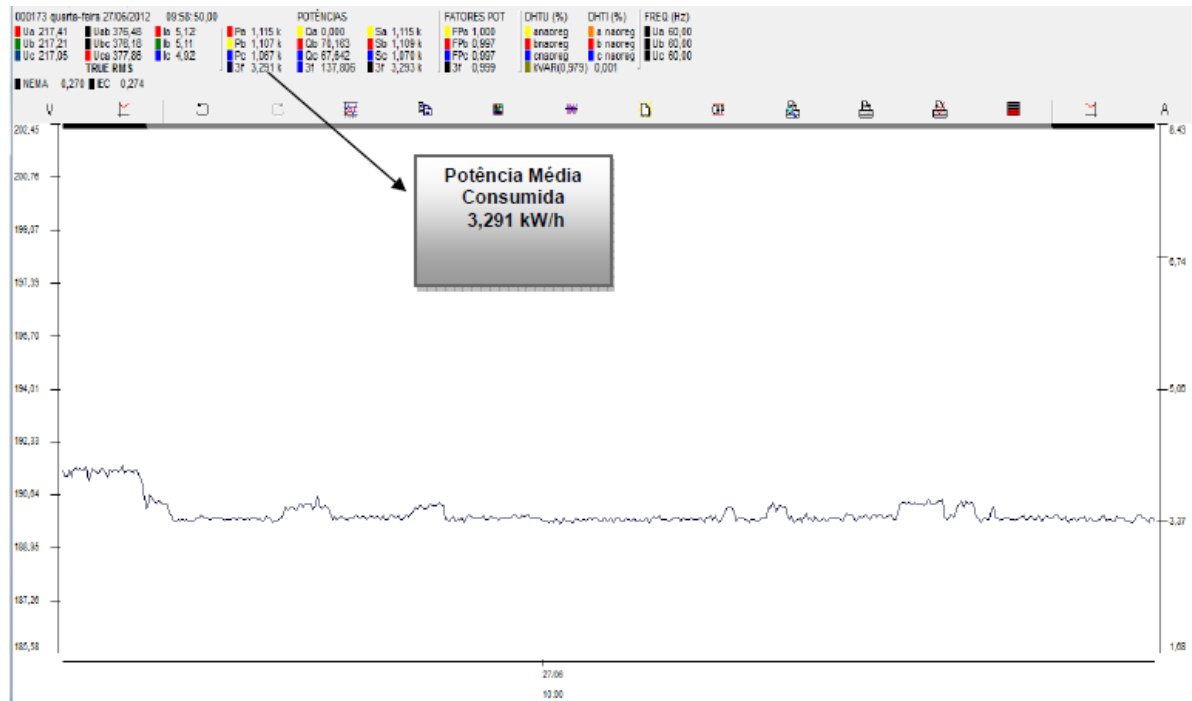
Todos estes dados levantados, serão úteis para realizarmos os cálculos de estudo de eficiência e viabilidade da substituição dos motores, verificar na figura 6.4 e 6.5:

FIGURA 6.4: Gráfico de medição do consumo no período de 12 horas / Motor linha padrão



Fonte: ESA,2015

FIGURA 6.5: Gráfico de medição do consumo no período de 12 horas / Motor alto rendimento



Fonte: ESA,2015

7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para avaliar a viabilidade e o retorno de investimento deve-se levantar os ganhos proporcionados pelas soluções propostas, principalmente na:

- Redução do Consumo e custo de energia
- Redução dos Custos de HH (Homem-Hora) da Manutenção;
- Redução com troca de material;
- Redução do estoque de partes e peças.

A importância da manutenção não é somente em termos de custos e sim em estender ao máximo os intervalos entre as falhas operacionais, reduzindo ao mínimo o prazo necessário para os correspondentes reparos, conforme sua definição clássica, recolocar os equipamentos, instalações e sistemas nas condições de desempenho para as quais foram originalmente projetados.

7.1 Redução do consumo e custo de energia

Foi realizado o cálculo para verificar a redução de consumo de energia elétrica na troca de 1 (um) motor no empreendimento e extrapolado para 1 (um) ano para visualizarmos a possível redução.

Com a potência média consumida de cada motor, dados retirados da figura 7.4 e 7.5 e valor do KWh, dado fornecido pelo administrador e regime operacional do empreendimento, podemos calcular sua economia de consumo de energia elétrica.

De acordo com a tabela da figura 8.1, podemos concluir que somente a troca do motor da linha padrão pelo motor de alto rendimento obtemos uma economia de 54%, devido a redução de do consumo médio consequentemente redução no custo anual.

TABELA 7.1: Dados base para cálculo de redução de consumo de energia elétrica

Custos para 01 motor de Fancoil do empreendimento		
	Motor linha padrão	Motor de alto rendimento
Custo unitário (R\$/kWh)	R\$ 0,58	
Horas de operação/dia	12	
Dias de operação/ano	288	
Consumo Médio (kWh)/hora	6134	3291
Consumo Médio anual (kWh)/ano	73.608	39.492
Custo anual (R\$)/ano	R\$ 42.692,64	R\$ 22.905,36
Redução de consumo de energia	54%	

Fonte: Autor,2016

7.2 Redução de custos de manutenção corretiva

Com a instalação dos motores novos estima-se que não haverá custos com manutenção corretiva dos motores durante o primeiro ano, somente preventiva.

O valor de manutenção corretiva é referente a diminuição de HH disponível para este serviço e diminui a probabilidade de troca de material, de acordo com a tabela da tabela 7.2, de acordo com os dados fornecido da administradora do empreendimento os maiores custos com manutenção corretiva é com as trocas de rolamento que em média custa R\$ 100,00 por motor.

TABELA 7.2: Tabela de cálculo de redução de custos com manutenção corretiva

Custos para 1 motor de <i>fancoil</i> do empreendimento		
	Motor linha padrão - 17 anos em operação	Motor de alto rendimento - NOVO
Custo com manutenção corretiva	R\$ 1.200,00	R\$ 0,00
Redução com manutenção corretiva	100%	

Fonte: Autor,2016

7.3 Custos da manutenção preventiva

Para este empreendimento o custo médio de HH é de R\$ 22,00, dados fornecidos pela empresa de manutenção e leva em torno de 2 horas para execução de manutenção preventiva, estando o motor em condições normais de operação e projeto (Dados fornecidos pela empresa de administração e manutenção), com motores novos aumenta a confiabilidade do sistema e diminuem as corretivas, ficando somente as preventivas do equipamento.

7.4 Redução com estocagem de material

A armazenagem de materiais compreende dois tipos de custos:

- Custos variáveis: custos de operação e manutenção dos equipamentos, manutenção dos estoques, materiais operacionais e instalações, obsolescência e deterioração e custos de perdas;
- Custos fixos: equipamentos de armazenagem e manutenção, seguros, benefícios a funcionários e folha de pagamentos e utilização do imóvel e mobiliário.

Quando a empresa mantém estoques que não são necessários, ocorre um desaproveitamento de estoque, o que vai significar uma perda de espaço físico assim como perdas de investimento. Quando existe a consciência que os estoques geram desperdício e quando se identificam as razões que indicam a necessidade de estoques, o propósito é usá-las de um forma eficiente (Palmisano et al, 2004, p. 51).

Em relação aos custos associados à gestão de estoques, estes podem ser separados em três áreas principais (Garcia et al., 2006, p.14):

- Custos de manutenção de estoques: custos proporcionais a quantidade armazenada e ao tempo que esta fica em estoque. Um dos custos mais

importante é o custo de oportunidade do capital. Este representa a perda de receitas por ter o capital investido em estoques em vez de o ter investido noutra atividade económica. Uma interpretação comum é considerar o custo de manutenção de estoque de um produto como uma pequena parte do seu valor unitário (Garcia et al., 2006, p.15);

- Custos de pedido: custos referentes a uma nova encomenda, podendo esses custos ser tanto variáveis como fixos. Os custos fixos associados a um pedido são, o envio da encomenda, receber essa mesma encomenda e inspeção. O exemplo principal de custo variável é o preço unitário de compra dos artigos encomendados (Garcia et al., 2006, p.15);
- Custos de falta: custos derivados de quando não existe estoque suficiente para satisfazer a procura dos clientes em um dado período de tempo. Como exemplos temos: pagamento de multas contratuais, perdas de venda, deteriorização de imagem da empresa, perda de market share, e utilização de planos de contingência (Garcia et al., 2006, p.16).

Para o centro empresarial estudado utiliza-se o estoque ABC:

As letras ABC servem para classificar cada grupo de item estocado, levando em conta a quantidade armazenada e seu respectivo valor (custo):

- A: são os itens de alta prioridade. Corresponde a 80% do valor do estoque distribuídos em 20% dos itens;
- B: são os itens intermediários. Representa 15% do valor disseminados em 30% dos itens;
- C: são os itens de baixa prioridade. Condiz a 5% do valor partilhado em 50% das mercadorias.

Os motores dos *fancoil* são de alta prioridade uma vez que a funcionalidade do ar condicionado do pavimento depende 100% da operação do motor.

Utilizaremos no cálculo o valor de 20% do valor do material estocado, de acordo com os valores estimados na estocagem ABC.

7.5 Cálculo final de viabilidade

O cálculo foi baseado na troca de 1 (um) motor da linha padrão por um motor de alto rendimento, de fato foi realizado o teste da troca, e foi estudado e calculado a viabilidade para extrapolar os cálculos para os 71 motores de *fancoil*, disponível no empreendimento, segue cálculos global da economia gerada:

Os cálculos da planilha da tabela 7.5 foram baseados nos dados da tabela 7.1, considerado o valor KWh do contrato cativo com a Eletropaulo e as horas de operação dos motores de acordo com o regime de operação do empreendimento.

Este estudo irá apresentar para o cliente a viabilidade de redução de consumo de energia e redução com HH de manutenção para os 71 motores de *fancoil* disponíveis no empreendimento. Foi medida a potência média consumida nos motores da linha padrão e no motor de alto rendimento, usados como teste e estes dados estão no gráfico da figura 6.4 e 6.5.

Para melhor visualização e cálculo da economia gerada com a troca dos motores, iremos considerar um período de 1 (um) ano na base de cálculos.

Com o consumo médio do KWh dos dois tipos de motores, valor do KWh, regime operativo do empreendimento e base de cálculo de 1 (um) ano, conseguimos calcular o consumo médio kwh/ano, segue na tabela 7.3.

TABELA 7.3: Cálculo do consumo médio anual dos 71 motores

Consumo para 71 motores de <i>fancoil</i> do empreendimento		
	Motor linha padrão - 17 anos em operação	Motor de alto rendimento - NOVO
Consumo Médio anual (kWh)/ano	R\$ 5.226.168,00	R\$ 2.803.932,00

Fonte: Autor, 2016

Conhecendo o consumo médio anual dos motores e valor do KWh é possível calcular as reduções de consumo de energia, podemos ver na tabela com a redução considerando motor da linha padrão e motor de alto rendimento.

Para melhor avaliarmos a redução e provar a eficiência energética, também consideramos os gastos com manutenção preventiva e corretiva.

A manutenção preventiva será igual para os dois tipos de motores uma vez que não muda este tipo de manutenção independente do motor, porém, a manutenção corretiva principalmente no primeiro ano, como premissa deste estudo, não terá custos para os novos motores (alto rendimento) e para os motores linha padrão que já está em operação há 17 anos, este sim, tem manutenção corretiva, valor estimado de acordo com dados passados pela alimentadora, mantenedora do empreendimento, verificar valores na planilha da tabela 7.4.

TABELA 7.4: Cálculo dos gastos com manutenção corretiva anual dos 71 motores

Custos para 71 motor de <i>fancoil</i> do empreendimento		
	Motor linha padrão - 17 anos em operação	Motor de alto rendimento - NOVO
Custo com manutenção corretiva / troca de material	R\$ 85.200,00	R\$ 0,00

Fonte: Autor, 2016

Para concluir a viabilidade o valor do investimento por motor será de R\$ 1860,00 e mão de obra de R\$ 132,00 por motor instalado considerando o HH da mão de obra disponível no empreendimento, valor levantado pela empresa ESA.

Com todos os dados necessário para verificar o retorno do investimento, calculamos a economia que irá gerar em um ano de operação dos novos motores e chegamos a conclusão de acordo com os cálculos na tabela 7.5 a seguir:

TABELA 7.5: Calculo global da viabilidade da substituição de motores de alto rendimento

DADOS PARA 71 MOTORES DE FANCO/LS DO EMPREENDIMENTO		
	Motor linha padrão - 17 anos em operação	Motor de alto rendimento - NOVO
Custo unitário (R\$/kWh)	R\$ 0,58	
Horas de operação/dia	12	
Dias de operação/ano	288	
Quantidades de motores para ser substituídos	71	
Consumo Médio (kWh)/mês	6134	3291
Consumo Médio anual (kWh)/ano	5.226.168,00	2.803.932,00
Custo anual (R\$)/ano	R\$ 3.031.177,44	R\$ 1.626.280,56
Custo com manutenção preventiva/ ano	R\$ 37.488,00	R\$ 37.488,00
Custo com manutenção corretiva / troca de material	R\$ 85.200,00	R\$ 0,00
Investimento Motores	R\$ 0,00	R\$ 141.432,00
Economia (R\$)/ano	R\$ 1.490.096,88	
Payback (dias)	34	

Fonte: Autor,2016

Calculamos um payback simples a fim verificar a viabilidade do investimento, o investimento se paga em 34 dias.

8 CONCLUSÕES

Com a crescente busca pelas empresas por redução de custos operacionais e crescimento sustentável, eficiência energética tem se tornado a solução mais prática e barata para que alcancem estes objetivos. Neste cenário, onde motores elétricos são os principais consumidores de energia, as análises para sua adequação às reais necessidades de carga implicam em grandes economias de energia, além de reduzir a necessidade de capacitores para correção do fator de potência. Fazendo-se uma analogia, pode-se entender que um motor sobredimensionado seria equivalente a se utilizar um caminhão para transportar, por exemplo, um saco de cimento, enquanto que um motor subdimensionado seria o contrário, ou seja, se utilizar de um veículo de carga de menor porte para carregar um peso superior a sua capacidade. Em ambas situações ocorre a utilização inadequada do recurso, o que implica em consumo excessivo e desnecessário de combustível e redução da sua vida útil.

De acordo com os dados levantados o retorno financeiro é de aproximadamente 34 dias, porém não foi renegociado o valor de investimento do motor, temos que considerar negociações comerciais para aprovar o projeto e obter descontos e tem-se que levar em consideração que os motores que serão substituídos já estão desgastados, o investimento terá que ocorrer em algum momento podendo gerar muito mais custo com trocas unitárias e ou rebobinamento de motor acarretando em alto consumo de energia elétrica. A troca dos motores é considerada uma ação simples, uma vez que será utilizado a mão de obra disponível de manutenção, realizando as trocas gradativamente.

De acordo com os resultados apresentados na análise de viabilidade econômica, o projeto torna-se uma opção interessante para cliente uma vez que haverá elevada redução de custos com o consumo de energia elétrica e manutenção corretiva. Além do benefício da redução de consumo e custo de energia, a troca de motores para a linha de alto rendimento resultará em melhoria da qualidade de energia do empreendimento, reduzindo as potências e energias reativas geradas por este equipamentos, resultando em melhoria do fator de potência do empreendimento, e

por consequência, menor custo de energia devido a redução da parcela da energia reativa cobrada nas contas de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, CHAMADA Nº. 002/2015 PROJETO PRIORITÁRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: “**Incentivo à substituição de motores elétricos: promovendo a eficiência energética no segmento de força motriz**”, Brasília/DF, 2015.

ARAÚJO, Igor Mateus de; SANTOS, Crisluci Karina Souza. **Manutenção elétrica industrial**, 2008

DEE, **Manutenção em motores elétricos**, 2005. Disponível em: <http://www.dee.ufrn.br/~joao/manut/10%20-%20Cap%EDtulo%208.pdf>. Acessado em: 15/10/2016.

ELETROBRAS - **Motor Elétrico Premium** / Carlos Aparecido Ferreira (Coordenador). – Rio de Janeiro/RJ: Eletrobrás, 2016.

Francisco, A Motor de Alto Rendimento. Disponível em: http://moodle.stoa.usp.br/file.php/1660/Motor_de_Alto_Rendimento_-_LIV009.pdf. Acesso em: 16/10/2016.

GARCIA, E. S. et al. **Gestão de estoques: otimizando a logística e a cadeia de suprimentos**. Rio de Janeiro: E-papers Servicos Editoriais Ltda, 2006.

Ministério de Minas e Energia. **Balanço de Energia Útil** - BEU. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: abril de 2016

MME, **Plano Nacional de Energia 2030**, 2006 – 2007

M. C. do E. S Ramos, **Implementação de motores de alto rendimento em uma indústria de alimentos**: Estudo de caso. Dissertação (Instituto de Eletrotécnica e Energia) – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo. 2005.

PALMISANO, Â. et al. **Gestão da qualidade - tópicos avançados**. Cengage Learning Editores, 2004.

PORTAL BRASIL – **Aneel estimula troca de motores elétricos para promover eficiência energética**. Disponível em:

<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/11/aneel-estimula-troca-de-motores-eletricos-para-promover-eficiencia-energetica> . Acessado em: 15/10/2016.

SHINDO, R., SOARES, A. S., TABOSA, R. P. **Guia Técnico – Procel – Motor de Alto Rendimento**. Ed.: Cepel e Eletrobrás, 2002

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002

Yamada, Eduardo - APOSTILA PECE – Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética, matéria ERG 004 - **Eficiência energética nas organizações e empreendimentos**,2015.

WEG. **Guia de Especificação – Motores Elétricos**. WEG Equipamentos Elétricos S.A. Jaraguá do Sul, 2012.

