

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ROBSON SILVEIRA TRISTÃO

**CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA E EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA EM NOVOS EQUIPAMENTOS DE LINHAS DE
SERRARIAS**

LAGES
2019

ROBSON SILVEIRA TRISTÃO

**CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA E EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA EM NOVOS EQUIPAMENTOS DE LINHAS DE
SERRARIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro
Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos a
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. MSc. Silvio Moraes de Oliveira

Coorientador: Prof. Dra. Franciéli Lima de Sá

LAGES

2019

Monografia apresentada ao Centro Universitário Facvest – UNIFACVEST, como requisito necessário para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Robson Pereira Tristão
NOME DO ALUNO

Correção do fator de Potência e Eficiência Energética em Novos Equipamentos de Linhas de Perobrias
TÍTULO DO TRABALHO

BANCA EXAMINADORA:

MSc Silvio Moraes de Oliveira
Titulação e nome do Orientador (a)

Francieli Lima de Sá
Titulação e nome do Co-orientador (a).

Mônica Traximentos da Silva
Titulação e nome do Avaliador (a).

Francieli Lima de Sá
Coordenador (a) Prof. (a). Titulação e nome da Coordenador (a).

Lages, 09 de julho de 2019.

AGRADECIMENTO

Primeiramente a Deus por me proporcionar a oportunidade de ter cursado esta graduação, fornecendo sabedoria e força para superar todos os obstáculos durante essa caminhada.

A minha esposa Gizele F. Bitencourt Tristão, por estar sempre ao meu lado me incentivando e ajudando a superar todos os obstáculos.

Aos meus pais por sempre estarem ao meu lado e me incentivando a nunca desistir.

Aos meus familiares e amigos que sempre estiveram ao meu lado

A todo o corpo docente deste centro universitário, aonde adquiri e aprimorei meus conhecimentos durante seus trabalhos regentes.

Ao meu orientador, Silvio Moraes de Oliveira, por todo ensinamento ministrado, realizando todo o suporte técnico durante o desenvolvimento, assim sendo possível realizar com sucesso o intuito deste trabalho.

A minha orientadora, Franciéli Lima de Sá, que sempre esteve a disposição para salientar qualquer dúvida assim demonstrando um grande empenho e dedicação em suas atividades.

A todos os citados, o meu muito obrigado, que Deus lhes recompense.

RESUMO

O fator de potência e a eficiência energética em motores elétricos são dois aspectos importantes a serem levados em consideração, tanto para a qualidade da distribuição de energia elétrica, quanto para o aspecto econômico relativo aos custos de utilização desta energia. Este trabalho mostra o significado da correção de fator de potência e a sua importância. Também apresenta o estudo de eficiência energética com a proposta de utilização de motores de alto rendimento no lugar de motores com rendimento mínimo exigido por normas vigente, que são fornecidas atualmente pelos fabricantes de equipamentos de linhas de serrarias, Tudo isso aplicado em equipamentos novos que terão um consumo de energia menor e não impactarão em estudos de correção de fator de potência em instalações existentes. Este trabalho será desenvolvido de forma quanti-qualitativa, mostrando resultados comprovados através de cálculos referentes ao assunto.

PALAVRAS-CHAVE: Fator de potência. Eficiência energética. Motores de alto rendimento.

ABSTRACT

Power factor and energy efficiency in electric motors are two important aspects to be taken into account, both for the quality of the electric energy distribution and for the economic aspect related to the costs of using this energy. This work shows the significance of the power factor correction and its importance. It also presents the energy efficiency study with the proposed use of high-performance motors instead of motors with minimum efficiency required by current standards, which are currently provided by the manufacturers of sawmill equipment, all applied in new equipment that will have energy consumption and will not impact power factor correction studies in existing facilities. This work will be developed in a quantitative and qualitative way, showing proven results through calculations referring to the subject.

KEYWORDS: Power factor. Energy efficiency. High performance motors.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	05
1.1 Objetivos.....	06
1.1.1 Objetivo Geral	06
1.1.2 Objetivo Específico	06
1.2 Justificativa	06
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	08
2.1 Matéria prima para serrarias	08
2.1.1 Florestas e reflorestamento mundial	08
2.1.2 Reflorestamento na região sul do Brasil	08
2.2 Histórico e legislação sobre o fator de potência	09
2.3 Classificação dos grupos e modalidades tarifárias	09
2.4 Causas de um baixo fator de potência	12
2.5 Vantagens da correção do fator de potência	14
2.6 Conceituação e cálculo do fator de potência	14
2.7 Escolha de capacitores para correção do Fator de potência (F.P).....	18
2.8 Métodos de instalação de bancos de capacitores	19
2.9 Cálculo de capacitores para correção nos motores	20
2.10 Eficiência energética	22
2.11 Impacto nos motores elétricos	22
2.12 Motores de alto rendimento	23
2.13 Utilização de motores de alto rendimento	25
2.13.1 Análise econômica com a utilização de motores de alto rendimento	27
2.13.1.2 Tempo de retorno Simples	28
2.13.1.3 Tempo de retorno capitalizado	29
2.13.1.4Tempo de retorno capitalizado considerando o aumento do custo de energia	29
3 LINHA DE PRODUÇÃO DE SERRARIA DE TORAS DE PINUS	
3.1 Equipamentos auxiliares	31
3.1.1 Esteira unitizadora de toras hidráulico	31
3.1.2 Posicionador automático de toras até 3.000 mm	32
3.1.3 Desviador de toras do centralizador automático 1,5 m direito	32

3.1.4 Esteira de Corrêa emborrachada 420 x 11.500 mm trapezoidal	33
3.1.5 Esteira de corrente 3 linhas 3L x 8500 mm	33
3.2 Primeiro corte lpro horizontal com variador	34
3.3 Serra fita bloco mpro	35
3.4 Refilador 800 com saída automática	37
3.5 Dogueira automatizada esquerda	38
3.6 Serra fita horizontal mpro 6 cabeçotes	39
3.7 Refilador 600 com saída automática	41
3.8 Serra fita horizontal mpro 2 cabeçotes	43
4 ESTUDO DE CASO	45
4.1 Informações da empresa	45
4.2 Informações técnicas	46
4.3 Cálculo das correções de F.P nos motores	50
4.4 Análise econômica da substituição de motores <i>standard</i> por motores de alto rendimento	60
4.4.1 Tempo de retorno Simples	66
5 CONCLUSÕES	69
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Classificação dos consumidores de energia elétrica.....	11
Quadro 02: Quadro do fator multiplicador.....	21
Quadro 03: Código criado para cada máquina e equipamento.....	46
Quadro 04: Dimensionamento dos componentes para correção do F.P.....	47
Quadro 05: Código da máquina, quantidades de motores e dados da placa.....	48
Quadro 06: Código da máquina, quantidades de motores e dados da placa.....	49
Quadro 07: valores totais de potência kVAr de cada máquina e equipamento.....	53
Quadro 08: Valores de capacitores a serem usados em cada máquina e equipamento.....	54
Quadro 09: Capacitores, Contatores e sistema de proteção para uma possível instalação de capacitores.....	54
Quadro 10: Valores totais de potência kVAr de cada máquina e equipamento.....	57
Quadro 11: Valores de capacitores a serem usados em cada máquina e equipamento.....	58
Quadro 12: Contatores e sistema de proteção para uma possível instalação dos capacitores....	59
Quadro 13: Características técnicas dos motores e seu respectivo custo.....	60
Quadro 14: Potência dos motores e sua diferença de investimento inicial.....	61
Quadro 15: Comparação da economia diária em R\$ dos motores <i>standard</i> para os de alto rendimento	65
Quadro 16: Comparação da economia em R\$ dos motores <i>standard</i> para os de alto rendimento, em 1 mês.....	65
Quadro 17: Comparação da economia em R\$ dos motores <i>standard</i> para os de alto rendimento, em 1 ano.	66
Quadro 18: Tempo de retorno simples, de investimento.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: - Tabela dos valores de área plantada em hectares de pinus e eucalipto no Brasil....	08
Tabela 02: - Cabeamento x fator de potência.....	13
Tabela 03: - Transformador x fator de potência.....	13
Tabela 04: – Vida útil média de um motor de Indução.....	26
Tabela 05: – Especificações da máquina Serra fita primeiro corte.....	35
Tabela 06: – Especificações da máquina Serra fita Bloco mpro.....	36
Tabela 07: – Especificações da máquina refilador.....	38
Tabela 08: – Especificações da máquina Dogueira.....	39
Tabela 09: – Especificações da máquina serra fita horizontal multe cabeças.....	41
Tabela 10:- Especificações da máquina refilador.....	42
Tabela 11: – Especificações da máquina serra fita horizontal 2 cabeçotes.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Tabela 01: - Comparação de rendimento das linhas de motores	61
Tabela 02: - Comparação de retorno simples, em meses com forme a potência de cada motor.....	68
Tabela 03: - Comparação de retorno simples, em anos com forme a potência de cada motor.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: -Triângulo de potências.....	14
Figura 2: -Formato de onda com valores de pico e rms.....	15
Figura 03: - Relação geométrica dos vetores de potências (triângulo de potencias)	18
Figura 04: -Diagrama de diferentes modelos de instalação de capacitores.....	19
Figura 05: - Características construtivas de um motor de alto rendimento.....	25
Figura 06: – Esteira unitizadora de toras.....	31
Figura 07: – Posicionador automático de toras.....	32
Figura 08: – Desviador de toras.....	32
Figura 09: – Esteira de Corrêa emborrachada.....	33
Figura 10: – Esteira de corrente.....	33
Figura 11: – Serra fita primeiro corte.....	34
Figura 12 – Serra fita bloco.....	36
Figura 13 – Refilador.....	37
Figura 14 – Dogueira.....	39
Figura 15 – Serra fita horizontal multe cabeças.....	40
Figura 16 – Refilador.....	42
Figura 17 – Serra fita horizontal 2 cabeçotes.....	43
Figura 18 : Empresa.....	45

1 INTRODUÇÃO

O futuro da população e das indústrias dependem de atitudes conscientes e sustentáveis, pois o mundo cresce em ritmo acelerado, modernizando e automatizando processos, aumentando cada dia a demanda maior do consumo de energia elétrica.

O fator de potência é um índice de utilização de energia cujo o controle adequado em instalações consumidoras é importante não apenas do ponto de vista energético, porém pelo fato de ser monitorado pelos sistemas de medição das concessionárias, podendo resultar grandes alterações na conta de energia elétrica, com a aplicação de multa caso este índice esteja fora do permitido.

A eficiência energética também ganha, importância no fato de se consumir uma quantidade menor de energia elétrica, realizando o mesmo trabalho mecânico, que é o caso de utilização de motores elétricos de alto rendimento em equipamentos de linhas de serrarias.

O fator de potência é um número entre 0 e 1. Se $FP = 1$, toda a energia gerada será utilizada pela carga, no entanto o circuito será resistivo (tensão e corrente mudam de polaridade simultaneamente, em fase, sem adiantamento ou atrasos entre as ondas; é o caso das lâmpadas incandescentes e dos chuveiros elétricos, que são cargas resistivas e atuam com fator de potência unitário). Se $FP = 0$, não se tem realização de trabalho útil, no entanto a energia é completamente devolvida à fonte. Os valores intermediários, maiores do que 0 e menores do que 1, são referentes à defasagem angular (atraso ou adiantamento) entre tensão (v) e corrente (i). Pode-se também dizer que temos dois tipos de fator de potência: (I) Indutivo, quando a instalação elétrica absorve a energia reativa; e (II) Capacitivo, quando a instalação elétrica fornece a energia reativa. No caso (II), isso acontece quando equipamentos indutivos são desligados e capacitores em excesso continuam operando. (PINTO, 2014).

Os motores elétricos são máquinas destinadas a transformar energia elétrica em energia mecânica. Tem como características: Facilidade de transporte, limpeza, comando simples, construção relativamente simples, grande versatilidade de adaptação as cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos, acabou por se tornar usado de mecanismo para operação de máquinas de diferentes tipos e tamanhos. (MICERINO, 2012).

Motores de alto rendimento possuem vantagens em relação a motores *standard*, possuindo rendimento superior e conseqüentemente, perdas mais reduzidas. Isto é possível devido a mudanças no projeto de construção, materiais e melhores processos de fabrico.

Com a aplicação de técnicas de correção do fator de potência e a utilização de motores de alto rendimento, o trabalho tem por objetivo mostrar que há retorno econômico e até ambiental, pois no conjunto pode reduzir a pressão por novas fontes geradoras de energia, que podem agredir o meio ambiente.

Depois de uma revisão bibliográfica relativa a correção do fator de potência e de características técnicas de motores de alto rendimento, foi realizado um estudo de caso com uma análise quantitativa e qualitativa, através de cálculos de consumo de energia dos custos envolvidos. Tudo isto, em equipamentos novos de linhas de serraria, que podem ser de linhas novas adicionais, ou acréscimo em linhas existentes.

A seguir apresentam-se os objetivos do trabalho e justificativa:

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Estudo da aplicação de motores de alto rendimento em relação a motores elétricos com rendimento exigidos por normas técnicas vigentes (*standard*) e dimensionamento de correção de F.P, ambos em equipamentos novos de linhas de serraria.

1.1.2 Objetivo Específico

Dentre os objetivos deste trabalho, podemos citar:

- Estudo do princípio de funcionamento dos motores elétricos de alto rendimento;
- Estudo do fator de potência e suas respectivas normas;
- Estudo de caso sobre os itens abordados na análise teórica.

1.2 Justificativa

O mercado madeireiro e as indústrias madeireiras sofrem grandes mudanças nos últimos anos, cada vez mais exigindo máquinas e um produto final de melhor qualidade. A região Sul do Brasil tem um alto destaque econômico neste setor.

Especificamente, o mercado madeireiro na região sul do Brasil tem grande importância econômica, sendo as linhas de serraria uma das suas partes essenciais. Então um estudo de correção de fator de potência e aplicação de motores de alto rendimento neste segmento, gera um ganho competitivo com a redução de custos envolvidos e configurando-os como investimento.

Através de pesquisas sobre linhas de serraria para corte de madeiras de reflorestamentos de pinus e eucalipto, foi escolhido para fazer o estudo de caso, uma linha de produção para corte de pinus, com máquinas produzidas pela Mill Industrias, (referência no mercado, na produção de serrarias, secadores e caldeiras).

A correção do fator de potência e a eficiência energética dos equipamentos possuem uma grande importância, principalmente nos setores industriais. Existem empresas com grandes problemas internos no funcionamento dos seus equipamentos ou sobrecarga dos circuitos, além de uma fatura de energia elevada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Matéria prima para serrarias

2.1.1 Florestas e reflorestamento mundial

As florestas cobrem aproximadamente 3.870 milhões de hectares do planeta, correspondendo a 30% de sua superfície. Desse total, 95% são cobertos por florestas nativas e tão somente 5% são de plantações florestais. (SILVA et al., 2003)

O Brasil possui a segunda maior cobertura florestal do mundo, o que equivale a 14,5% da superfície florestal mundial, sendo superado apenas pela Rússia. Dos 845,7 milhões de hectares que formam o território nacional, aproximadamente 63,7% são cobertos por florestas nativas e apenas 0,6% por florestas plantadas. (SILVA et al., 2003)

Essa ampla extensão de cobertura florestal impõe ao Brasil uma posição estratégica nas questões ambientais mundiais, além de dotá-lo de um grande potencial produtivo de produtos florestais madeireiros e não madeireiros. (SILVA et al., 2003)

2.1.2 Reflorestamento na região sul do Brasil

As florestas plantadas no Brasil ocupam, aproximadamente, 4,8 milhões de hectares, dos quais, cerca de 3,0 milhões de ha correspondem a reflorestamentos com eucalipto e 1,8 milhão a reflorestamentos com pinus, sendo a maioria das plantações efetuadas pelas indústrias do setor ou por iniciativa de alguns estados. Do total de florestas plantadas, 75% estão vinculadas diretamente às indústrias e 25% são florestas que estão disponíveis para consumo no mercado de roliças em geral. (SILVA et al., 2003)

Tabela 01: -Tabela dos valores de área plantada em hectares de pinus e eucalipto no Brasil

Área plantada com pinus e eucalipto no Brasil (Ha)			
Estado	Pinus	Eucalipto	Total
Paraná	605.130	67.000	672.130
Santa Catarina	318.120	41.550	359.670
Rio Grande do Sul	136.800	115.900	252.700
Região Sul	1.060.050	224.450	1.284.500
Total Brasil	1.840.050	2.965.880	4.805.930

Fonte: SILVA et al, (2003).

2.2 Histórico e legislação sobre o fator de potência

O fator de potência teve sua regulamentação atual estabelecida na que apresentou a nota técnica (NT) nº 0083/2012-SRD/ANEEL em 12 de junho de 2012. Proposta de abertura de Audiência Pública para o recebimento de contribuições visando aprimorar a regulamentação acerca do fator de potência e cobrança do excedente de reativos.

Consta da NT nº0083:

Em 25 de outubro de 1966, por meio do Decreto nº 59.414, foram estabelecidas as primeiras regras brasileiras acerca da energia reativa, limitando o fator de potência indutivo médio em 0,90 para consumidores do Serviço de Transmissão (atendidos em tensão superior a 13,2 kV) e 0,85 para os demais consumidores. Caso o fator de potência ficasse abaixo do limite, o faturamento resultante era multiplicado pelo valor de referência (0,90 ou 0,85) e esse produto era dividido pelo fator de potência indutivo médio verificado.

Em 25 de março de 1992, a Portaria DNAEE nº. 085 foi publicada, estabelecendo diversas mudanças na forma de controle da energia reativa que circula pelo sistema. Em particular, o limite mínimo do fator de potência foi aumentado para 0,92 e passou-se a ter a possibilidade de faturamento pelo excedente de energia reativa capacitiva no período noturno para alguns consumidores.

Em 29 de novembro de 2000, com a publicação da Resolução ANEEL nº. 456, os quesitos relativos ao faturamento pelo baixo fator de potência passaram a integrar as Condições Gerais de Fornecimento, sendo revogadas as Portarias do DNAEE acerca desse assunto. No entanto, a maior parte dos critérios relacionados ao controle da energia reativa permaneceu inalterada, havendo somente algumas modificações nas definições.

A regulamentação atual estabelece que o fator de potência de referência para unidades consumidoras conectadas na distribuição até o nível de 230 kV é de 0,92, conforme Resolução Normativa nº. 414/2010 e item 3.2 do Módulo 8 do PRODIST, transcrito em seguida: “3.2.1 Para unidade consumidora conectada no sistema de distribuição ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo ou 1,00 e 0,92 capacitivo, de acordo com regulamentação vigente. “3.2.2 Para unidade consumidora com tensão igual ou superior a 230 kV os padrões deverão seguir o determinado no Procedimento de Rede.”

Destaca-se duas formas, hoje de averiguação do F.P. em relação a energia consumida pela indústria: avaliação horária e avaliação mensal.

A avaliação horária tem como característica realizar o cálculo do F.P. com os valores de energia, (potência reativa e ativa) em intervalos de uma hora, durante as tarifas azul e verde (período de faturamento). (ANEEL, 2017).

É realizado na avaliação horária duas formas diferentes de verificação, dependendo do horário, como vemos a seguir:

1ª Entre 6:00 horas e 24:00 horas é avaliado o F.P. indutivo;

2ª Entre 00:00 horas e 6:00 horas é avaliado o F.P. capacitivo.

Temos também o horário de ponta que se caracteriza pelo período de 3 (três) horas consecutivas exceto sábados, domingos e feriados nacionais, definido pela concessionária, em função das características de seu sistema elétrico. Em algumas modalidades tarifárias, nesse horário a demanda e o consumo de energia elétrica têm preços mais elevados. Já o horário fora de ponta corresponde às demais 21 horas do dia, que não sejam referentes ao horário de ponta. (ANEEL, 2017).

A demanda de potência e o consumo de energia reativa excedentes, calculados através do fator de potência horário, serão faturados pelas expressões: (ENGELÉTRICA, 2011).

FDR(P) - Faturamento da demanda de potência reativa excedente por posto tarifário;

DAt - Demanda de potência ativa medida de hora em hora;

DF(p) - Demanda de potência ativa faturada em cada posto horário;

TDA(p) - Tarifa de demanda de potência ativa;

FER(p) - Faturamento do consumo de reativo excedente por posto tarifário;

CAt - Consumo de energia ativa medido em cada hora;

t - Indica cada intervalo de uma hora;

p - Indica posto tarifário: ponta e fora de ponta, para as tarifas horosazonais, e único, para a tarifa convencional;

n - Número de intervalos de uma hora, por posto horário no período de faturamento.

A avaliação mensal tem como base de cálculo do F.P. o consumo de energia/potência ativa e reativa consumida pela indústria medidos durante o período de faturamento, chamado de tarifa convencional.

A demanda de potência e o consumo de energia reativa excedentes, calculados através do fator de potência mensal, serão faturados pelas expressões: (ENGELÉTRICA, 2011).

FDR - Faturamento da demanda de reativo excedente;

DM - Demanda ativa máxima registrada no mês (kW);

DF - Demanda ativa faturável no mês (kW);

TDA - Tarifa de demanda ativa (R\$/ kW);

FER - Faturamento do consumo de reativo excedente;

CA - Consumo ativo do mês (kWh);

TCA - Tarifa de consumo ativo (R\$ / kWh);

fm - Fator de potência médio mensal.

2.3 Classificação dos grupos e modalidades tarifárias

As modalidades e grupos tarifárias são um conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas, segundo a considerando os seguintes grupos e modalidades: (ANEEL, 2017).

Quadro 1: Classificação dos consumidores de energia elétrica.

Grupo	Classificação	Tensão de Alimentação e/ou característica
Grupo A	Subgrupo A1	≥ 230 kV
	Subgrupo A2	88kV a 138 kV
	Subgrupo A3	69kV
	Subgrupo A4	2,3kV a 25kV
	Subgrupo AS	< 2,3kV (com fornecimento subterrâneo) *opcional no grupo A
Grupo B	*	< 2,3kV

Fonte: ANEEL, (2017).

As modalidades tarifárias são um conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas, considerando as seguintes modalidades: (ANEEL, 2016).

- **Azul:** Aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia;
- **Verde:** Modalidade tarifária horária verde: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, assim como de uma única tarifa de demanda de potência;
- **Convencional Binômia:** Aplicada às unidades consumidoras do grupo A caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia. Esta modalidade será extinta a partir da revisão tarifária da distribuidora;
- **Convencional Monômia:** Aplicada às unidades consumidoras do grupo B, caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia;
- **Branca:** Aplicada às unidades consumidoras do grupo B, exceto para o subgrupo B4 e para as subclasses Baixa Renda do subgrupo B1, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia.

2.4 Causas de um baixo fator de potência

Motores e fator de potência, tem alguns pontos importantes que se deve tomar cuidado:

- Motores superdimensionados ou com pouca carga;
- Motores com um baixo F.P abaixo de 0,92.

Também deve-se tomar cuidado com outros pontos em relação ao fator de potência:

- Lâmpadas de descarga: fluorescentes, vapor de sódio, vapor de mercúrio e outras (com reatores de baixo fator de potência);
- Instalações de ar condicionado;
- Máquinas de solda;
- Equipamentos eletrônicos;
- Transformadores superdimensionados. (SERAFIM, 2019).

A Tabela 01 apresenta o impacto do fator de potência no cabeamento dos circuitos elétricos.

A Tabela 02 apresenta o impacto do fator de potência no transformador das instalações elétricas.

Tabela 01: -Cabeamento x fator de potência

Seção relativa mm ²	Fator de potência
1,00	1,00
1,23	0,90
1,56	0,80
2,04	0,70
2,78	0,60
4,00	0,50
6,25	0,40
11,10	0,30

Fonte: ENGELÉTRICA, (2019).

Tabela 02: -Transformador x fator de potência.

Potência útil absorvida - kW	Fator de potência	Potência do Trafo - kVA
800	0,50	1.600
	0,80	1.000
	1,00	800

Fonte: ENGELÉTRICA, (2019).

2.5 Vantagens da correção do fator de potência

As principais vantagens são:

- Redução de perdas da corrente elétrica;
- Circuitos muitas vezes menos sobrecarregados;
- Aumento da eficiência energética;
- Redução na fatura de energia;
- Aumento da capacidade dos equipamentos de manobra;

- Redução do efeito joule.

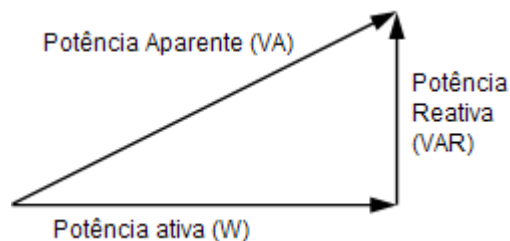
(SERAFIM, 2019).

2.6 Conceituação e cálculo do fator de potência

Em um circuito de corrente alternada puramente resistivo, as ondas de tensão e de corrente elétrica estão em fase, ou seja, mudando sua polaridade no mesmo instante de cada ciclo. Quando se tem circuitos com cargas reativas presentes, como capacitores e indutores se tem um armazenamento de energia nessas cargas, que como consequência resulta na diferença de fase entre as ondas de tensão e corrente. Um baixo fator de potência pode causar vários problemas no sistema elétrico, com a ocorrência de sobrecarga na rede elétrica. (PINTO, 2014)

Em síntese, o fator de potência, indica a representatividade da energia ativa, em relação a energia total (aparente) absorvida por um equipamento ou instalação, tem uma variação entre 0 (zero) e 1 (um), tanto indutivo quanto capacitivo, em uma relação de % (porcentagem) varia entre 0 e 100%. O fator de potência pode ter um melhor entendimento, recorrendo-se ao conhecido “triângulo de potência”. (SILVA, 2009), conforme mostra a figura 1.

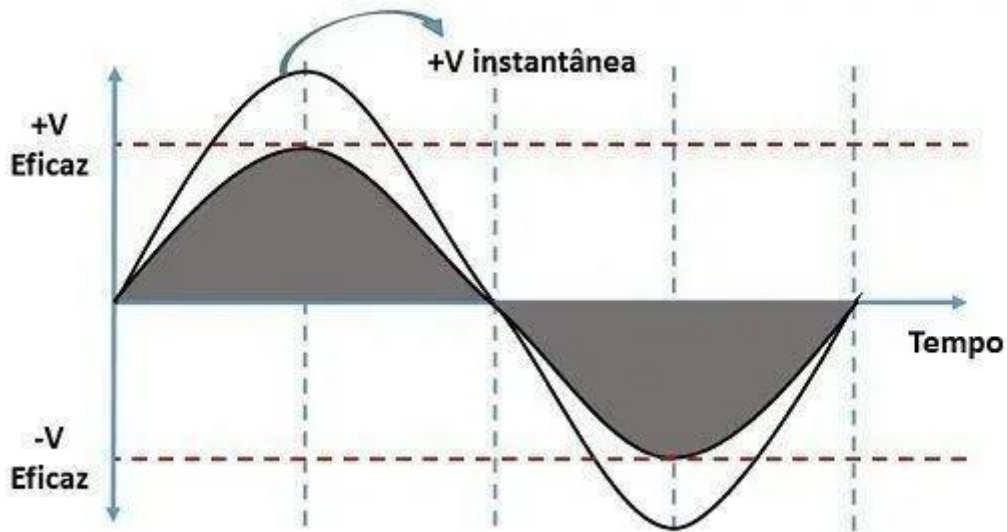
Figura 1: Triângulo de potências



Fonte: ANICETO, (2016).

Em cada instante de um sistema de geração de energia alternada, os pontos máximos da crista da onda são chamados de corrente e tensão de pico a pico ou corrente e tensão instantâneos. Quando uma máquina ou equipamento é ligado nem toda essa corrente e tensão são absorvidos, este que é absorvido é chamado de tensão ou e correntes eficaz (rms), a parte destes que realmente é absorvido pelos equipamentos, (MUNDO ELÉTRICA, 2019).

Figura 2: Formato de onda com valores de pico e rms



Fonte: MUNDO ELÉTRICA, (2019).

Equações básicas de corrente e tensão instantânea, estão apresentados nas Equações de 1 à 4:

$$v(t) = V_m \cdot \cos(\omega t + \theta) \quad (1)$$

Onde:

V_m = Valor máximo de tensão (pico)

$$i(t) = I_m \cdot \cos(\omega t + \gamma) \quad (2)$$

Onde:

I_m = Valor máximo de corrente (pico)

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

Onde:

V = Valores eficazes de tensão (rms)

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Onde:

I = Valores eficazes corrente (rms)

Potência instantânea absorvida pela carga será;

Com base na expressão anterior, pode afirmar-se que a potência instantânea é representada por uma componente sinusoidal de amplitude V eficaz I eficaz e que oscila com uma frequência angular dupla da tensão e corrente,

Relação das equações:

$$p(t) = v(t) \cdot I(t) = V_m \cdot I_m \cdot \cos(\omega t + \theta) \cdot \cos(\omega t + \gamma) \quad (5)$$

Pela relação trigonométricas tem-se:

$$\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta) = 2 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \quad (6)$$

Considerando:

$$\alpha = \omega t + \theta \quad (7)$$

$$\beta = \omega t + \gamma \quad (8)$$

Substituindo na equação 6 utilizando a equação 5 obtém-se, a Equação 9:

$$p(t) = \frac{V_m \cdot I_m}{2} \cdot [\cos(\omega t + \theta - \omega t - \gamma) + \cos(\omega t + \theta + \omega t + \gamma)] \quad (9)$$

Simplificando a equação 9, obtém-se:

$$p(t) = V \cdot I \cdot [\cos(\theta - \gamma) + \cos(2\omega t + \theta + \gamma)] = V \cdot I \cdot \underbrace{\cos(\theta - \gamma)}_{\text{Potência ativa}} + \underbrace{V \cdot I \cdot \cos(2\omega t + \theta + \gamma)}_{\text{Potência pulsante}} \quad (10)$$

Sendo assim o fator de potência (F.P.) é definido, pela Equação 11:

$$FP = \cos(\theta - \gamma) = \cos \varphi \quad (11)$$

Onde:

φ = Defasagem angular entre tensão e corrente

Transformando a tensão e corrente em fasores temos:

$$\dot{V} = V \angle \theta \quad e \quad \dot{I} = I \angle \gamma \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \vec{S} &= \dot{V} \cdot I^* = V \cdot I \angle \theta - \gamma = V \cdot I \cdot \cos(\theta - \gamma) + j \cdot V \cdot I \cdot \sin(\theta - \gamma) + \\ &+ j \cdot \underbrace{S \cdot \sin(\theta - \gamma)}_Q = P + jQ \end{aligned} \quad (13)$$

Onde:

\vec{S} : Potência complexa (VA);

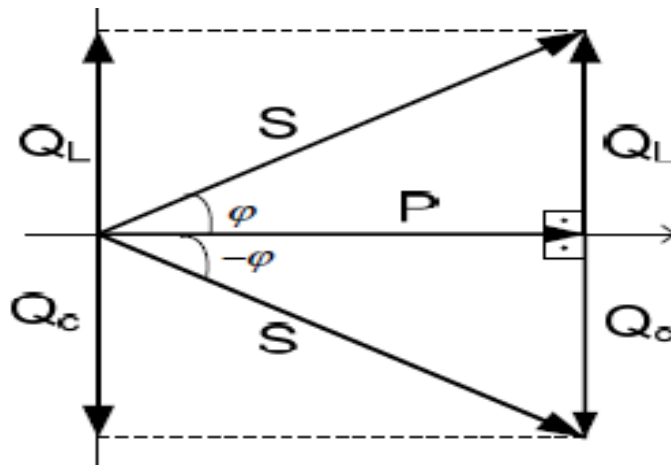
$|\vec{S}|$: Potência aparente (VA);

P : Potência ativa (W);

Q : Potência reativa (VAr).

A Figura 03 apresenta a forma geométrica da relação das potências;

Figura 03: Relação geométrica dos vetores de potências (triângulo de potências)



Fonte: PINTO, (2014).

A partir do triângulo de potências, podemos obter as seguintes relações:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad \therefore P = S \cdot \cos \varphi \quad (14)$$

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S} \quad \therefore Q = S \cdot \sin \varphi \quad (15)$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad \therefore Q = P \cdot \tan \varphi \quad (16)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (17)$$

2.7 Escolha de capacitores para correção do Fator de potência (F.P).

A escolha de capacitores deve observar as seguintes características:

- Tensão nominal (Vca): valor eficaz da tensão senoidal entre os terminais, para o qual foi projetado (220, 380, 440 ou 660V);

- Potência reativa nominal (kVAr): potência reativa sob tensão e frequência nominal para o qual foi projetado.;
- Capacitância nominal (uF): valor da capacitância em microfarads.;
- Resistor de descarga: reduz a zero a tensão entre os terminais, quando o capacitor é desligado da fonte de alimentação, assim tornando mais seguro para manuseio e manutenção.

Estas características são necessárias na especificação técnica para aquisição dos capacitores.

2.8 Métodos de instalação de bancos de capacitores

Tem-se os seguintes métodos:

- Instalado diretamente na carga (correção individual);
- Instalado no QGBT quadro geral de baixa tensão (correção geral);
- Instalado no QSBT quadro secundário de baixa tensão (correção por grupos de cargas);
- Instalado na entrada de alta tensão.

A Figura 04 apresenta o diagrama com os métodos de instalação de bancos de capacitores.

Figura 04: Diagrama de diferentes modelos de instalação de capacitores

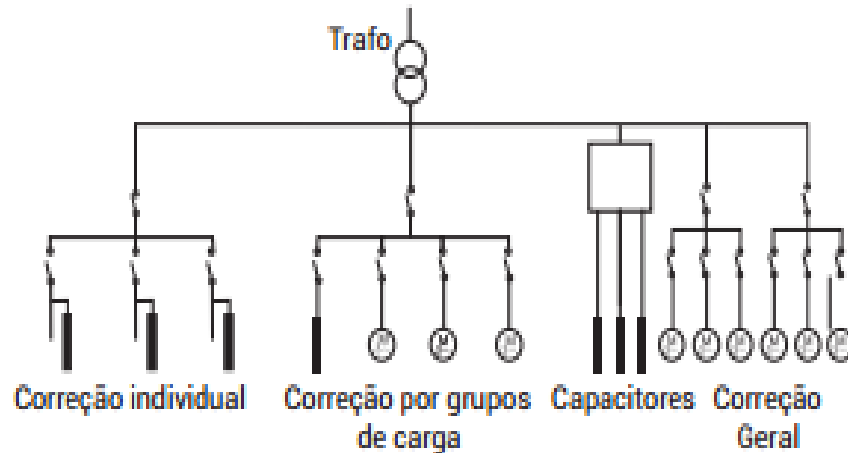


Diagrama - Tipos de Instalação.

Fonte: ENGEREY, (2019).

Os capacitores instalados diretamente nos motores, comparados com bancos fixos sem controladores, tem como vantagens reduzir o efeito joule e a carga nos circuitos que os alimentam, em relação. Bancos automáticos possuem a vantagem de ter geração de energia capacitiva somente quando e quantidade necessária.

Porém de acordo com situação e as características da instalação cada método torna-se economicamente viável.

2.9 Cálculo de capacitores para correção nos motores

Primeiramente localiza-se o fator de potência original na coluna esquerda, analisa-se a coluna da direita que é o fator de potência desejado, no cruzamento da linha do F.P atual com a coluna do F.P desejado determina-se o fator multiplicador (Fm).

Em seguida utiliza-se o Quadro 02 para obter-se um fator multiplicador, (Fm) para ser efetuado o cálculo do capacitor a ser instalado junto ao motor, deve-se primeiramente obter os dados da placa como: Potência (em CV, HP ou kW), F.P e o rendimento do motor. A seguir calcula-se a demanda do motor em kW, conforme a Equação 18:

$$Dm = \frac{Pcv.0,736}{n} \quad (18)$$

Onde:

Dm- Demanda do Motor (kW);

Pcv- Potência em cv do motor;

n- rendimento do motor.

O Valor encontrado pela multiplicação do *Fm* por *Dm* é a potência reativa em (kVAr), necessária para a correção do fator de potência desejado. Conforme apresenta a Equação 19: (QUADRO DA ELÉTRICA CONHECIMENTO PARA TODOS, 2018).

$$Q_c = F_m \times D_m = (kVAr) \quad (19)$$

Onde:

Qc- Valor do capacitor (kVAr);

Fm- Fator multiplicador;

Dm- Demanda do motor;(kW).

Quadro 02: Quadro do fator multiplicador

FP Atual	Fator de Potência Desejado																				
	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.80	0.90	0.01	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
0.50	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481	1.529	1.589	1.732
0.51	0.937	0.962	0.989	1.015	1.041	1.067	1.094	1.120	1.147	1.175	1.203	1.231	1.261	1.292	1.324	1.358	1.395	1.436	1.484	1.544	1.687
0.52	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.050	1.076	1.103	1.131	1.159	1.187	1.217	1.248	1.280	1.314	1.351	1.392	1.440	1.500	1.643
0.53	0.850	0.876	0.902	0.928	0.954	0.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349	1.397	1.457	1.600
0.54	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.966	0.992	1.019	1.047	1.075	1.103	1.133	1.164	1.196	1.230	1.267	1.308	1.356	1.416	1.559
0.55	0.769	0.795	0.821	0.847	0.873	0.899	0.926	0.952	0.979	1.007	1.035	1.063	1.093	1.124	1.156	1.190	1.227	1.268	1.316	1.376	1.519
0.56	0.730	0.756	0.782	0.808	0.834	0.860	0.887	0.913	0.940	0.968	0.996	1.024	1.054	1.085	1.117	1.151	1.188	1.229	1.277	1.337	1.480
0.57	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.849	0.875	0.902	0.930	0.958	0.986	1.016	1.047	1.079	1.113	1.150	1.191	1.239	1.299	1.442
0.58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.812	0.838	0.865	0.893	0.921	0.949	0.979	1.010	1.042	1.076	1.113	1.154	1.202	1.262	1.405
0.59	0.619	0.645	0.671	0.697	0.723	0.749	0.776	0.802	0.829	0.857	0.885	0.913	0.943	0.974	1.006	1.040	1.077	1.118	1.166	1.226	1.369
0.60	0.583	0.609	0.635	0.661	0.687	0.713	0.740	0.766	0.793	0.821	0.849	0.877	0.907	0.938	0.970	1.004	1.041	1.082	1.130	1.190	1.333
0.61	0.549	0.575	0.601	0.624	0.653	0.679	0.706	0.732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048	1.096	1.156	1.299
0.62	0.516	0.542	0.568	0.594	0.620	0.646	0.673	0.699	0.726	0.754	0.782	0.810	0.840	0.871	0.903	0.937	0.974	1.015	1.063	1.123	1.266
0.63	0.483	0.509	0.535	0.561	0.587	0.613	0.640	0.666	0.693	0.719	0.749	0.777	0.807	0.838	0.870	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233
0.64	0.451	0.474	0.503	0.529	0.555	0.581	0.608	0.634	0.661	0.689	0.717	0.745	0.775	0.806	0.838	0.872	0.909	0.950	0.998	1.068	1.201
0.65	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.713	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.918	0.966	1.026	1.169
0.66	0.388	0.414	0.440	0.466	0.492	0.518	0.545	0.571	0.598	0.626	0.654	0.682	0.712	0.743	0.775	0.809	0.846	0.887	0.935	0.995	1.138
0.67	0.358	0.384	0.410	0.436	0.462	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108
0.68	0.328	0.354	0.380	0.406	0.432	0.458	0.485	0.511	0.538	0.566	0.594	0.622	0.652	0.683	0.715	0.749	0.786	0.827	0.875	0.935	1.049
0.69	0.299	0.325	0.351	0.377	0.403	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.049
0.70	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.564	0.594	0.625	0.657	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020
0.71	0.242	0.268	0.294	0.320	0.346	0.372	0.399	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.214	0.240	0.266	0.292	0.318	0.344	0.371	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.316	0.343	0.369	0.396	0.424	0.452	0.480	0.510	0.541	0.573	0.607	0.644	0.685	0.733	0.793	0.936
0.74	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.132	0.158	0.184	0.210	0.236	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.399	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.604	0.652	0.712	0.855
0.77	0.079	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.236	0.262	0.289	0.317	0.345	0.373	0.403	0.434	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.685	0.829
0.78	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.209	0.235	0.262	0.290	0.318	0.346	0.376	0.407	0.439	0.473	0.510	0.551	0.599	0.659	0.802
0.79	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.633	0.776
0.80		0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.157	0.193	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.609	0.750
0.81			0.026	0.052	0.078	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82				0.026	0.052	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.555	0.698
0.83					0.026	0.052	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.529	0.672
0.84						0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85							0.027	0.053	0.080	0.108	0.136	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86								0.026	0.053	0.081	0.109	0.137	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.342	0.390	0.450	0.593
0.87									0.027	0.055	0.083	0.111	0.141	0.173	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88										0.028	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540
0.89											0.028	0.056	0.086	0.117	0.149	0.183	0.220	0.261	0.309	0.369	0.512
0.90												0.028	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.233	0.281	0.341	0.484
0.91													0.030	0.061	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456
0.92														0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426
0.93															0.032	0.066	0.103	0.144	0.192	0.252	0.395
0.94																0.034	0.071	0.112	0.160	0.221	0.363
0.95																	0.037	0.079	0.126	0.186	0.329
0.96																		0.041	0.089	0.149	0.292
0.97																			0.048	0.108	0.251
0.98																				0.060	0.203
0.99																					0.143

Fonte: ENGELÉTRICA, (2011).

2.10 Eficiência energética

A eficiência energética consiste na relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização.

Os motores elétricos no Brasil são responsáveis por cerca de 25% de toda a energia elétrica consumida no país e, em sua grande parte, estão presentes na indústria. Estes equipamentos são fabricados para uso em ventiladores, [tornos industriais, serras industriais], bombas hidráulicas, compressores de ar, elevadores etc., podendo ser comercializados se atenderem os índices de eficiência mínimos definidos pela Portaria INMETRO/MDIC, N488 de 08/12/2010, garantindo o seu perfeito funcionamento e o gasto energético adequado. (TEIXEIRA 2017).

Por definição, a eficiência energética consiste na relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. Em outras palavras, é a utilização racional da energia, em que se procura minimizar as perdas nos processos e nas atividades. (WEG, 2017)

Nos motores com um maior rendimento (de classes premium), observa-se um maior aproveitamento da energia elétrica, desta forma gera-se uma economia diária durante seu funcionamento.

2.11 Impacto nos motores elétricos

Com grande importância para o processo produtivo, os motores elétricos representam uma grande soma dos custos à indústria nacional. Em dados gerais, eles são responsáveis por 68% do consumo de energia elétrica nas empresas, segundo a CNI (Confederação Nacional da Indústria). Isso porque o fato dos motores elétricos do parque fabril brasileiro ter, em média, 17 anos, segundo o que aponta a Abraman (Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos). (WEG, 2017)

Portanto, os motores elétricos acabam ultrapassando décadas de uso, sendo que aproximadamente 20% deles chegam a 25 anos. Esse cenário coloca a eficiência energética em destaque para que seja otimizado o consumo de energia elétrica nas empresas e a própria renovação do parque industrial. A modernização da indústria, tendo o motor elétrico como um dos seus protagonistas, permite que tenha uma redução de custos operacionais e uma economia

de até 60% no consumo de energia elétrica. Isso sem contar os ganhos ambientais e sociais. (WEG, 2017)

2.12 Motores de alto rendimento

A grande maioria dos motores de alto rendimento têm um custo inicial mais elevado, que os motores *standard*, mas apresentam benefícios significativos no consumo de energia elétrica por apresentarem menores perdas no seu funcionamento. Um ponto muito importante quando se fala sobre motores de alto rendimento é a norma brasileira NBR 7094, que determina os níveis mínimos que devem ser apresentados em relação ao rendimento dos motores caracterizados como de alto rendimento pelo fabricante. (MICERINO, 2012).

A utilização dos motores de alto rendimento tem um planejamento e projeto diferenciado, tendo em conta não se aumentam exageradamente seu custo de fabricação. Para que isso seja possível é feito um melhoramento, tanto no dimensionamento como da seleção e utilização dos materiais que serão utilizados durante o processo de fabricação do mesmo, com intuito de reduzir as perdas de energia que ocorrem durante a operação do motor. (MICERINO, 2012).

Como resultado deste processo diferenciado, os motores com alto rendimento costumam trabalhar com uma temperatura mais baixa, resultando em uma vida útil mais prolongada, além disso tem como característica uma redução na demanda de manutenção e também uma redução no nível de ruído devido ao melhor balanceamento e redução na tolerância durante o processo de fabricação. Sendo importante lembrar que estas características mudam de um fabricante para outro, sendo que cada um adota medidas que acham relevantes para aumentar o rendimento de seus motores. (MICERINO, 2012).

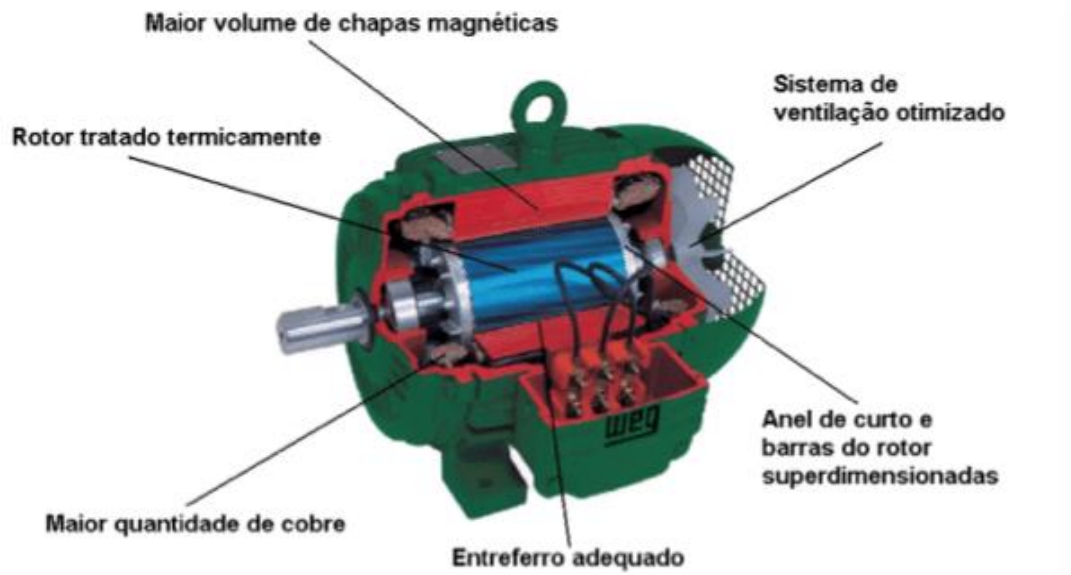
Muito importante ser lembrado o aumento do rendimento em relação aos motores *standard* variam com a potência do motor e o fabricante. No entanto sempre deve ser levado em conta o valor absoluto da diferença das perdas entre os motores com alto rendimento e os *standards*. De fato, em motores de alta potência até menor diferença em seu rendimento pode resultar na grande redução no consumo do motor em kWh.

Segundo MICERINO (2012) As alterações importantes em motores com alto rendimento são:

- **Chapas Magnéticas:** As chapas que compõem o rotor e o estator são de qualidade superior, assim diminuindo significativamente as perdas tendo melhores resultados em relação as perdas por histerese e efeito joule. Outras mudanças que podem ser feitas em relação as chapas magnéticas podem ser a redução da espessura e/ou tratamento térmico para reduzir as perdas;
- **Enrolamentos do Rotor e do Estator:** Os enrolamentos do estator e do rotor possuem uma maior deposição de material, assim tendo um resultado de menor resistência elétrica, assim ajudando a reduzir as perdas por efeito Joule. Alguns fabricantes também utilizam materiais com resistividade reduzida;
- **Ventilador:** Motores com as perdas reduzidas, conseqüentemente vão diminuir o aquecimento e assim não sendo necessário um grande processo de ventilação, reduzindo a potência necessária para o ventilador;
- **Rolamentos:** São utilizados rolamentos diferenciados com valores menores em relação ao atrito, assim tendo uma vida útil maior;
- **Dimensões Principais:** O diâmetro do rotor, as ranhuras, o entreferro e o comprimento axial do motor são projetados e dimensionados especificamente para aumentar o rendimento do motor;
- **Tolerâncias Mecânicas Menores:** Quando são utilizados equipamentos de maior precisão, se tem uma redução nas tolerâncias de fabricação deste modo, obtém-se um melhor resultado no balanceamento geral do motor e uma redução no número de imperfeições, e desta forma diminui-se as perdas adicionais como vibração e ruído. Assim, motores com entreferros de menor tamanho podem ser fabricados, tendo um grande benefício com a redução das correntes de magnetização e melhor fator de potência e rendimento.

Para um melhor entendimento esta representado na Figura 05, as características construtivas de um motor de alto rendimento.

Figura 05: Características construtivas de um motor de alto rendimento



Fonte: RESEARCHGATE, (2019).

2.13 Utilização de motores de alto rendimento

Existem diferentes motivos ou oportunidades para utilizar motores com alto rendimento no lugar de motores *standard*. Um exemplo disso é a chegada ao final da vida útil do motor *standard*, porém também tem casos que tem a necessidade de um maior rendimento levando principalmente em consideração a redução do consumo da energia elétrica. No entanto nem sempre é viável a substituição do motor *standard* por motores de alto rendimento, (um exemplo desse é quando se tem um tempo médio de operação curto).

Em relação a instalações industriais novas ou expansão de instalações existentes, é de grande importância levar em consideração a utilização de motores com alto rendimento.

Segundo MICERINO (2012) deve-se levar em consideração vários aspectos para uma possível troca ou nova instalação de motores *standard* por alto rendimento:

- **Rendimento dos motores:** É de vital importância saber o rendimento do motor atual, esses valores podem ser tirados na prática ou em literaturas com fontes confiáveis;

- **Tempo de operação:** O tempo que o motor vai estar em operação também é um fator de muita importância em relação a troca de motores, pois se o motor tiver um tempo relativamente pequeno de funcionamento raramente se justifica a utilização de um motor com alto rendimento;
- **Nível de carregamento:** O conhecimento da potência nominal que vai ser utilizada do motor é de essencial importância pois o rendimento do mesmo varia conforme a potência utilizada;
- **Custo da Energia:** O valor do kWh, em geral, muda em relação ao tipo de consumidor e concessionária, e é de fundamental importância saber se vale a pena investir em um motor com alto rendimento. Este valor também muda conforme o contrato entre o consumidor e a concessionária;
- **Taxas de juros:** É indispensável conhecer as taxas em vigor, de modo a que se possa proceder a uma análise econômica eficiente;
- **Vida útil do motor:** O investimento de motores de alto rendimento muitas vezes vem ao longo do tempo por isso é de fundamental importância estimar a vida útil do mesmo.

Tabela 04: – Vida útil média de um motor de Indução.

Potência (cv)	Tempo de vida (anos)	Vida média (anos)
Menor que 1	10 a 15	12,9
5 a 20	13 a 19	17,1
21 a 50	18 a 26	19,4
50 a 125	24 a 33	28,5
Maior que 125	25 a 38	29,3

Fonte WEG MÁQUINAS, (2015).

2.13.1 Análise econômica com a utilização de motores de alto rendimento

Para substituir motores standard, ou para escolha da utilização de motores de alto rendimento existem cálculos que podem ser feitos.

Pode ser definido como conceito de rendimento de um motor elétrico toda eficiência de um sistema, ou seja, levar em consideração o percentual de energia aplica na entrada e verificar a diferença dessa energia na saída do sistema.

O rendimento pode ser expresso com a seguinte equação, onde P significa potência:

$$\text{Rendimento} = \frac{P \text{ saída}}{P \text{ entrada}} = \frac{P \text{ entrada} - P \text{ perdas}}{P \text{ entrada}} \quad (20)$$

Na Equação (21) pode-se verificar o consumo de energia elétrica durante um período determinado de anos.

$$E = 0,736 \cdot H \cdot P \cdot \frac{1}{\eta} \quad (21)$$

Onde:

E- Energia consumida no período, em kWh;

H- Tempo de operação do motor no período, em horas;

P- Potência mecânica nominal do motor, em cavalos;

η- Rendimento nominal do motor, em %.

Com o auxílio da equação 2, nesta equação pode-se verificar o custo com o consumo de energia elétrica de cada motor.

$$C = E \cdot T \quad (22)$$

Onde:

C- Custo de energia consumida no período, em R\$;

E- Energia consumida no período, em kWh;

T- Tarifa de energia considerada, em R\$/kWh.

Tão importante como saber o valor do custo anual com o consumo de energia é obter a economia deste processo, nesta equação pode-se verificar a economia de energia elétrica anual

$$E = 0,736 \cdot H \cdot P \cdot \frac{1}{\eta} - \frac{1}{\eta_{ar}} \quad (23)$$

Onde:

E: Energia consumida no período, em kWh;

H: Tempo de operação do motor no período, em horas;

P: Potência mecânica nominal do motor, em cavalos;

η: Rendimento nominal do motor, em %;

η_{ar}: Rendimento nominal do motor de alto rendimento, em %.

2.13.1.2 Tempo de retorno Simples

É o tempo necessário para que o capital investido na aquisição de um equipamento mais eficiente seja retornado na forma de parcelas mensais que deixarão de ser pagos na conta de energia (economia mensal). O tempo de retorno simples não considera a capitalização do valor da economia mensal (taxa de juros zero) e é dado pela seguinte fórmula: (FERNANDES et al., 2009).

$$tRS = \frac{\Delta C}{EcoR\$mensal} \quad (24)$$

Onde:

tRS - Tempo de retorno simples

ΔC - Custo do investimento;

EcoR\$mensal - Economia por mês em reais;

Como está sendo considerado um retorno em parcelas mensais, o valor obtido com a equação acima deverá ser arredondado para o próximo inteiro.

2.13.1.3 Tempo de retorno capitalizado

Considerando uma taxa de juros i em valores percentuais e considerando k períodos (meses) pode ser calculado o retorno capitalizado pela expressão abaixo: (FERNANDES et al., 2009).

$$tRC = \frac{\log \left(\frac{EcoR\$mensal}{EcoR\$mensal - \Delta C \cdot \frac{i}{100}} \right)}{\log \left(1 + \frac{i}{100} \right)} \quad (25)$$

Onde:

tRC - Tempo de retorno capitalizado;

i - Taxa de juros;

2.13.1.4 Tempo de retorno capitalizado considerando o aumento do custo de energia

Para se calcular o tempo de retorno pode ser incluído um possível aumento no custo da energia elétrica. Primeiro se deve encontrar uma taxa de juros líquida, utilizando a seguinte expressão: (FERNANDES et al., 2009).

$$iL = \left(\frac{\left(1 + \frac{i}{100} \right)}{\left(1 + \frac{ie}{100} \right)} - 1 \right) \cdot 100 \quad (26)$$

Onde:

iL - Taxa de juros líquidos;

ie - Taxa de aumento do custo da energia.

De acordo com a fórmula acima se percebe que com a inclusão da taxa de aumento do custo da energia elétrica, a taxa de juros a ser utilizada no tempo de retorno capitalizado será menor do que se não tivesse considerando este aumento no custo da energia, com isso o tempo de retorno será menor quando considerado a taxa de aumento do custo da energia elétrica, portanto para o cálculo do retorno de investimento capitalizado utilizaremos a nova taxa de juros chegando assim à seguinte expressão: (FERNANDES et al., 2009).

$$tRC = \frac{\log \left(\frac{EcoR\$mensal}{EcoR\$mensal - \Delta C \cdot \frac{iL}{100}} \right)}{\log \left(1 + \frac{iL}{100} \right)} \quad (27)$$

3 LINHA DE PRODUÇÃO DE SERRARIA DE TORAS DE PINUS

A seguir são apresentados equipamentos que compõe uma linha de produção para corte de pinus, com as características técnicas das máquinas e relação da quantidade de motores, que foram utilizados no estudo de caso.

Informações retiradas do site: <http://www.mill.com.br/equipamentos/>, (acessado em 15/04/2019).

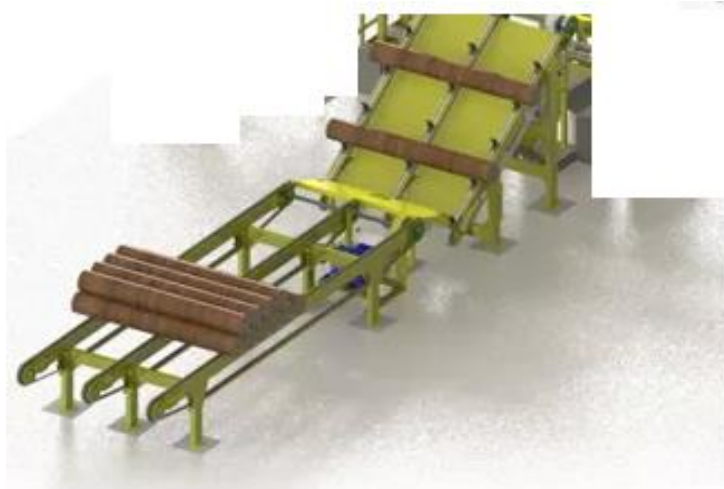
3.1 Equipamentos auxiliares

Nos próximos subitens serão apresentados os equipamentos complementares para auxiliar no funcionamento dos equipamentos principais.

3.1.1 Esteira unitizadora de toras hidráulico

A Figura 04 apresenta um equipamento projetado com a função de transporte de toras, composto por três linhas de corrente, com 1 motor de 20CV.

Figura 06: – Esteira unitizadora de toras



Fonte: MILL, (2019)

3.1.2 Posicionador automático de toras até 3.000 mm

A Figura 05 apresenta um equipamento projetado para a escolha da melhor posição a ser serrada a tora, assim tendo um melhor aproveitamento e é composto por 1 motor de 5 CV com freio 1 motor de 5 CV sem freio.

Figura 07: – Posicionador automático de toras



Fonte: MILL, (2019)

3.1.3 Desviador de toras do centralizador automático 1,5 m direito

A Figura 06 apresenta um equipamento projetado para desviar as toras depois que passa pelo primeiro corte e entra no centralizador de toras para seguir o processo pela máquina bloco, e é composto por 1 motor 1,5 CV com moto freio e 1 motor de 1 CV sem moto freio.

Figura 08: – Desviador de toras



Fonte: MILL, (2019)

3.1.4 Esteira de Corrêa emborrachada 420 x 11.500 mm trapezoidal

A Figura 07 apresenta um equipamento ideal para transporte de toras, tábuas, costaneiras e resíduos dentro das linhas de produção e é composto por 1 motor de 5 CV.

Figura 09: – Esteira de Corrêa emborrachada



Fonte: MILL, (2019)

3.1.5 Esteira de corrente 3 linhas 3L x 8500 mm

A Figura 08 apresenta um equipamento projetado com a função de transporte de toras, blocos e tábuas e é composto por 1 motor 2 CV

Figura 10: – Esteira de corrente



Fonte: MILL, (2019)

3.2 Primeiro corte lpro horizontal com variador

A Figura 09 apresenta um equipamento projetado para efetuar um corte horizontal na parte inferior da tora deixando uma base reta, com as seguintes características:

- Ideal para corte de Pinus;
- Base do bloco cortada 100% no esquadro;
- Alta produção, sistema contínuo de alimentação;
- Produção de 1.000 a 3.000 m³ por mês;
- Alto aproveitamento de madeira com corte mais fino do mercado;
- Motorização e painel elétrico automático inclusos.

Figura 11: – Serra fita primeiro corte



Fonte: MILL, (2019)

Na Tabela 04 apresenta-se as especificações técnicas.

Tabela 04: – Especificações da máquina Serra fita primeiro corte

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	L/PRO
Diâmetro máximo das toras	550 mm
Diâmetro mínimo das toras	120 mm
Comprimento da madeira	1.000 à 3.000 mm
Velocidade de avanço	13 à 19 m/min (inversor)
Produção estimada	até 3.000 m ³
Comprimento do equipamento	8.550 mm
Altura do equipamento	1.800 mm
Largura do equipamento	2.300 mm
Peso do equipamento	2.250 Kg
Motor da serra	25 CV
Motor de avanço	3 CV
Motor do medidor	1,5 CV
Acionamento	Painel elétrico automático
Fiação	Completa até o painel
Largura da lâmina de serra	32 mm (1.1/4")
Comprimento da lâmina de serra	4.800 mm
Espessura da lâmina de serra	0,9 – 1,1 mm
Espessura do corte	1,7 mm
Diâmetro dos volantes	700 mm

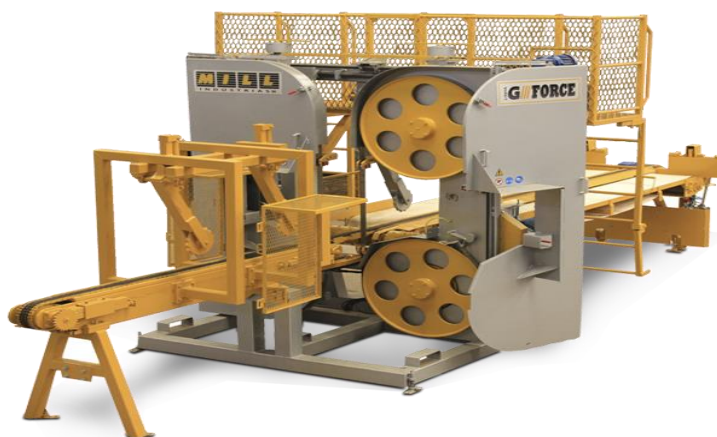
Fonte: MILL, (2019)

3.3 Serra fita bloco mpro

A Figura 10 apresenta um equipamento projetado para receber toras com no mínimo uma base reta, efetua dois cortes verticais retirando uma costaneira de cada lado da tora com as seguintes características:

- Ideal para corte de Pinus, Eucalipto e Teca;
- Bloco 100% no esquadro;
- Alta produção, sistema contínuo de alimentação;
- Produção até 4.000 m³ por mês;
- Alto aproveitamento de madeira com corte mais fino do mercado;
- Motorização e painel elétrico automático inclusos;
- Alimentação automática (Centralizador de Toras Opcional).

Figura 12 – Serra fita bloco



Fonte: MILL, (2019)

Na Tabela 05 apresenta-se as especificações técnicas.

Tabela 05: – Especificações da máquina Serra fita Bloco mpro

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	M/PRO
Diâmetro Máximo das Toras	500 mm
Diâmetro Mínimo das Toras	100 mm
Comprimento da Madeira	1.000 à 3.000 mm
Velocidade de Avanço	9 à 29 m/min (Inversor)
Produção Estimada	até 3.000 m ³
Comprimento do Equipamento	8.000 mm
Altura do Equipamento	2.480 mm
Largura do Equipamento	2.645 mm
Peso do Equipamento	3.410 Kg
Motor da Serra	2 x 25 CV
Motor de Avanço	5 CV
Motor do Bitolador (opcional)	1 CV
Acionamento	Painel elétrico automático
Fiação	Não incluído
Largura da Lâmina de Serra	32 mm (1.1/4")
Comprimento da Lâmina de Serra	4.220 mm
Espessura da Lâmina de Serra	0,9 – 1,1 mm
Espessura do Corte	1,7 mm
Diâmetro dos Volantes	700 mm

Fonte: MILL, (2019)

3.4 Refilador 800 com saída automática

A Figura 11 apresenta um equipamento de alta produção projetado para receber costaneiras ou tábuas e refilá-las encontrando sua melhor largura com as seguintes características:

- Ideal para linha de aproveitamento;
- Alta precisão de corte;
- 06 rolos tracionadores;
- Alta produção, trabalhando a 60 m/min;
- Motorização e painel elétrico automático inclusos;
- Saída automática (Esteira Automática de Retirada de Costaneiras Opcional).

Figura 13 – Refilador



Fonte: MILL, (2019)

Na Tabela 06 apresenta-se as especificações técnicas.

Tabela 06: – Especificações da máquina, Refilador

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	REF 800
Altura da Boca de Entrada	190 mm
Altura Máxima de Corte	155 mm
Largura da Boca de Entrada	800 mm
Comprimento da Madeira	800 à 6.000 mm
Velocidade de Avanço	40 à 60m/min (inversor)
Produção Estimada	Variável
Serras Circulares	05 x 450 mm
Comprimento do Equipamento	1.670 mm
Altura do Equipamento	1.950 mm
Largura do Equipamento	1.535 mm
Peso do Equipamento	1.850 Kg
Motor Principal	40 CV
Motor de Avanço	5 CV
Acionamento	Painel elétrico automático
Fiação	Completa até o painel

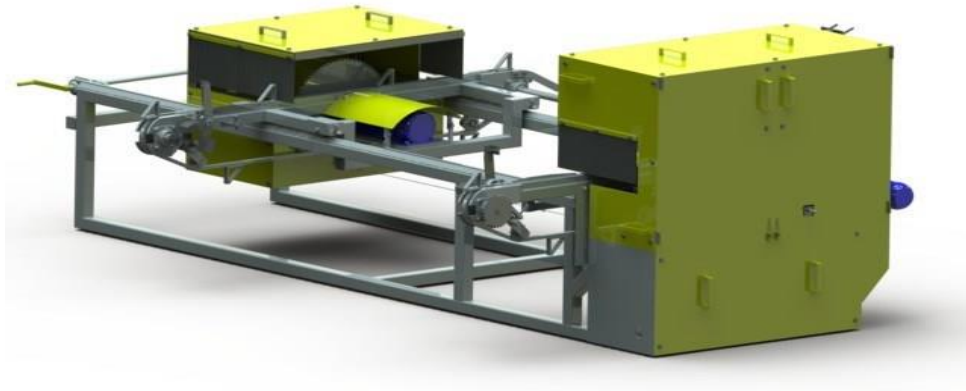
Fonte: MILL, (2019)

3.5 Dogueira automatizada esquerda

A Figura 12 apresenta um equipamento projetado para receber blocos ou tábuas e efetuar o corte do comprimento da peça desejada (destopo) além de efetuar automaticamente os 2 cortes do dogue. Equipamento se auto ajusta para trabalhar com diferentes larguras de cerca do mercado com as seguintes características:

- Ideal para produção de cerca (fencing);
- Super reforçado;
- Baixa manutenção;
- Alta produção;
- Ajuste automático das diferentes larguras de cerca do mercado;
- Motorização e painel elétrico automático inclusos;
- Alimentação automática (Alimentador e virador de blocos automático Opcional).

Figura 14 – Dogueira



Fonte: MILL, (2019)

Na Tabela 07 apresenta-se as especificações técnicas.

Tabela 07: – Especificações da máquina, Dogueira

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	Dogue Simples
Motores dos destopos	02 x 10 CV
Motores dos dogues	02 x 3 CV
Motor de acionamento	01 x 1 CV
Serras circulares dos destopos	02 x 600 mm
Serras circulares dos dogues	02 x 250 mm
Produção estimada	até 2.000 m ³
Comprimento do equipamento	2.615 mm
Altura do equipamento	1.600 mm
Largura do equipamento	4.500 mm
Peso do equipamento	1.400 Kg
Acionamento	Painel elétrico automático
Fiação	Completa até o painel

Fonte: MILL, (2019)

3.6 Serra fita horizontal mpro 6 cabeçotes

A Figura 13 apresenta um equipamento projetado para receber blocos ou semi-blocos e fatiá-los em tábuas, podendo ser de 1 a 12 cabeçotes em linha com as seguintes características:

- Ideal para corte de Pinus, Eucalipto e Teca;

- Alta precisão de corte;
- Esteira de aço inox;
- Alta produção, sistema contínuo de alimentação;
- Melhor aproveitamento de madeira com corte mais fino do mercado;
- Motorização e painel elétrico automático inclusos;
- Alimentação automática.

Figura 15 – Serra fita horizontal multe cabeças



Fonte: MILL, (2019)

Na Tabela 08 apresenta-se as especificações técnicas.

Tabela 08: – Especificações da máquina, Serra fita horizontal multe cabeças

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	M/PRO
Espessura Mínima da Madeira	2 mm
Altura Máxima do Bloco	330 mm
Largura da Madeira	20 à 210 mm
Comprimento da Madeira	400 à 3.000 mm
Velocidade de Avanço Madeira Mole	20 à 30 m/min (inversor)
Velocidade de Avanço Madeira Dura	5 à 10 m/min (inversor)
Produção Estimada	Depende do nº de cabeçotes
Comprimento do Equipamento	5.300 mm + 1.000 mm por cada Cabeçote
Altura do Equipamento	1.600 mm
Largura do Equipamento	2.100 mm
Peso do Equipamento	Variável
Largura da Esteira de Avanço	150 mm
Largura da Esteira de Retorno	210 mm
Motor da Serra	06 X 20 CV
Motor de Avanço	5 CV
Motor do Bitolador (opcional)	Não possui nessa maquina
Acionamento	Painel elétrico automático
Fiação	Não incluso
Largura da Lâmina de Serra	32 mm (1.1/4")
Comprimento da Lâmina de Serra	4.220 mm
Espessura da Lâmina de Serra	0,9 – 1,1 mm
Espessura do Corte	1,7 mm
Diâmetro dos Volantes	700 mm

Fonte: MILL, (2019).

3.7 Refilador 600 com saída automática

A Figura 14 apresenta um equipamento de alta produção projetado para receber costaneiras ou tábuas e refilá-las encontrando sua melhor largura com as seguintes características:

- Ideal para linha de aproveitamento;
- Alta precisão de corte;
- 06 rolos tracionadores;

- Alta produção, trabalhando a 60 m/min;
- Motorização e painel elétrico automático inclusos;
- Saída automática (Esteira Automática de Retirada de Costaneiras Opcional).

Figura 16 – Refilador



Fonte: MILL, (2019)

Na Tabela 09 apresenta-se as especificações técnicas.

Tabela 09: – Especificações da máquina, Refilador

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	REF 600
Altura da Boca de Entrada	160 mm
Altura Máxima de Corte	120 mm
Largura da Boca de Entrada	600 mm
Comprimento da Madeira	800 à 6.000 mm
Velocidade de Avanço	40 à 60m/min (inversor)
Produção Estimada	Variável
Serras Circulares	05 x 350 mm
Comprimento do Equipamento	1.520 mm
Altura do Equipamento	1.820 mm
Largura do Equipamento	1.280 mm
Peso do Equipamento	1.430 Kg
Motor Principal	20 CV
Motor de Avanço	3 CV
Acionamento	Painel elétrico automático
Fiação	Completa até o painel

Fonte: MILL, (2019)

3.8 Serra fita horizontal mpro 2 cabeçotes

A Figura 15 apresenta um equipamento projetado para receber blocos ou semi-blocos e fatiá-los em tábuas, podendo ser de 1 a 12 cabeçotes em linha com as seguintes características:

- Ideal para corte de Pinus, Eucalipto e Teca;
- Alta precisão de corte;
- Esteira de aço inox;
- Alta produção, sistema contínuo de alimentação;
- Melhor aproveitamento de madeira com corte mais fino do mercado;
- Motorização e painel elétrico automático inclusos;
- Alimentação automática.

Figura 17 – Serra fita horizontal 2 cabeçotes



Fonte: MILL, (2019)

Na Tabela 10 apresenta-se as especificações técnicas.

Tabela 10: – Especificações da máquina, Serra fita horizontal 2 cabeçotes

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	M/PRO
Espessura Mínima da Madeira	2 mm
Altura Máxima do Bloco	330 mm
Largura da Madeira	20 à 210 mm
Comprimento da Madeira	400 à 3.000 mm
Velocidade de Avanço Madeira Mole	20 à 30 m/min (inversor)
Velocidade de Avanço Madeira Dura	5 à 10 m/min (inversor)
Produção Estimada	Depende do nº de cabeçotes
Comprimento do Equipamento	5.300 mm + 1.000 mm por cada Cabeçote
Altura do Equipamento	1.600 mm
Largura do Equipamento	2.100 mm
Peso do Equipamento	Variável
Largura da Esteira de Avanço	150 mm
Largura da Esteira de Retorno	210 mm
Motor da Serra	02 X 20 CV
Motor de Avanço	3 CV
Motor do Bitolador (opcional)	Não possui nessa maquina
Acionamento	Painel elétrico automático
Fiação	Não incluso
Largura da Lâmina de Serra	32 mm (1.1/4")
Comprimento da Lâmina de Serra	4.220 mm
Espessura da Lâmina de Serra	0,9 – 1,1 mm
Espessura do Corte	1,7 mm
Diâmetro dos Volantes	700 mm

Fonte: MILL, (2019)

4 ESTUDO DE CASO

Este estudo foi desenvolvido em uma linha de serraria da empresa MILL INDUSTRIAS LTDA sobre a correção do fator de potência, considerando o método de instalação, da correção em cada motor e considerando a possível de motores *standard* por de alto rendimento. E importante ressaltar que independente da marca de motores utilizada pela empresa MILL INDUSTRIAS, os dados e valores relativos aos motores desse estudo são reais, e de uma marca comercial bastante utilizada pelo setor, que não será referenciada especificamente.

4.1 Informações da empresa

O grupo Mill teve início em 1996, atuando na indústria madeireira com a fabricação de máquinas e lâminas de serras. A empresa cresceu e hoje conta com um parque fabril de 10.000 m², subdividindo-se em 3 unidades distintas a unidade serras, a unidade de equipamentos e a unidade de caldeiras, secadores e altoclaves.

Figura 18 : Empresa



Fonte: MILL, (2019) .

4.2 Informações técnicas

O Quadro 03 apresenta o código para identificação de cada máquina e equipamento, utilizado pela empresa MILL.

Quadro 03: Código criado para cada máquina e equipamento

CÓDIGO DAS MÁQUINAS	NOME DA MÁQUINA
222114	ESTEIRA UNITIZADORA DE TORAS HIDRÁULICO
222115	POSICIONADOR AUTOMÁTICO DE TORAS ATÉ 3.000 mm GFORCE
222119	DESVIADOR DE TORAS DO CENTRALIZADOR AUTOMÁTICO 1,5 m DIREITO
222121	ESTEIRA DE CORRÊA EMBORRACHADA 420 X 11.500 mm TRAPEZOIDAL
222124	ESTEIRA DE CORRENTE 3 LINHAS 3L X 8500 mm
222118	PRIMEIRO CORTE LPRO HORIZONTAL COM VARIADOR
222120	SERRA FITA BLOCO MPRO
222123	REFILADOR 800 COM SAÍDA AUTOMÁTICA
222122	DOGUEIRA AUTOMATIZADA ESQUERDA
222125	SERRA FITA HORIZONTAL MPRO 6 CABEÇOTES COM VARIADOR
222127	REFILADOR 600 COM SAÍDA AUTOMÁTICA
222126	SERRA FITA HORIZONTAL MPRO 2 CABEÇOTES

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, (2019).

O Quadro 04 apresenta os dados de capacitores utilizados como referência para efeito dos cálculos referentes a correção do F.P.

Quadro 04: Dimensionamento dos componentes para correção do F.P

Potência UCW - 60 Hz ^{1,4)}										
Tensão (V)	Potência Reativa (kvar)	Série ²⁾	Referência	Capacitância (uF) (Ligação ?)	Dimensional Ø x H (mm)	Resistor de Descarga (Fornecido com a UC WT)	Corrente Nominal (A)	Contator ³⁾	Disjuntor em Caixa Moldada ³⁾	Fusível gL/gG (A) ³⁾
380	0,50	D	UCWT0,5V40 L10	3,1 x 3	60 x 156	Interno	0,8	CWMC9	-	2
	0,75	D	UCWT0,75V40 L10	4,6 x 3	60 x 156	Interno	1,1	CWMC9	-	2
	1,00	D	UCWT1V40 L10	6,1 x 3	60 x 156	Interno	1,5	CWMC9	-	4
	1,50	D	UCWT1,5V40 L10	9,2 X 3	60 X 156	Interno	2,3	CWMC9	-	4
	2,00	D	UCWT2V40 L10	12,3 x 3	60 x 156	Interno	3,0	CWMW9	-	6
	2,50	D	UCWT2,5V40 L10	15,3 x3	60 x 156	Interno	3,8	CWMC9	-	6
	3,00	D	UCWT3V40 L10	18,4 x 3	60 x 156	Interno	4,6	CWMC9	-	10
	5,00	D	UCWT5V40 L16	30,6 x 3	60 x 211	Interno	7,6	CWMC9	-	16
	7,50	E	UCWT7,5V40 N20	45,9 x 3	75 x225	3 x 180 kOhms/3W	11,4	CWMC9	DWB160B16-3DX	20
	10,00	E	UCWT10V40 N20	61,3 x 3	75 x 225	3 x 150 kOhms/3W	15,2	CWMC9	DWB160B25-3DX	25
	12,50	E	UCWT12,5V40 N22	76,6 x 3	75 x 285	3 x 120 kOhms/3W	19,0	CWMC18	DWB160B32-3DX	30
	15,00	E	UCWT15V40 N22	91,9 x 3	75 x 285	3 x 120 kOhms/3W	22,8	CWMC18	DWB160B32-3DX	35
	17,50	F	UCWT17,5V40 Q26	107,2 x 3	100 x 230	3 x 82 kOhms/3W	26,6	CWMC25	DWB160B40-3DX	50
	20,00	F	UCWT20V40 Q26	122,5 x 3	100 x 230	3 x 82 kOhms/3W	30,4	CWMC25	DWB160B50-3DX	50
	22,50	F	UCWT22,5V40 S26	137,8 x 3	116 x 230	3 x 82 kOhms/3W	34,2	CWMC32	DWB160B50-3DX	63
	25,00	F	UCWT25V40 S26	153,1 x 3	116 x 230	3 x 82 kOhms/3W	38,0	CWMC32	DWB160B63-3DX	63
	30,00	F	UCWT30V40 S28	183,7 x 3	116 x 290	3 x 56 kOhms/5W	45,6	CWMC50	DWB160B63-3DX	80
	35,00	F	UCWT35V40 S28	214,3 x 3	116 x 290	3 x 56 kOhms/5W	53,2	CWMC50	DWB160B80-3DX	100
	40,00	F	UCWT40V40 U28	244,9 x 3	136 x 290	3 x 180 kOhms/3W	60,8	CWMC50	DWB160B100-3DX	100
45,00	F	UCWT45V40 U28	275,5 x 3	136 x 290	3 x 150 kOhms/3W	68,4	CWMC65	DWB160B100-3DX	125	
50,00	F	UCWT50V40 U28	306,2 x 3	136 x 290	3 x 120 kOhms/3W	76,0	CWMC65	DWB160B125-3DX	125	

Fonte: ELETROLICO, (2019).

O Quadro 05 apresenta os dados dos motores *standard* , normalmente ofertados nas máquinas da MILL.

Quadro 05: Código da máquina, quantidades de motores e dados da placa

MOTORES STANDARD						
CÓDIGO DAS MÁQUINAS	QUANTIDADE DE MOTORES	POTÊNCIA EM CV	FATOR DE POTÊNCIA (COS ϕ)	RENDIMENTO	Nº DE POLOS	FREQUÊNCIA Hz
222114	1	20	0,81	92,4	4	60
222115	2	5	0,78	88	4	60
222119	2	1,5	0,79	81,6	4	60
		1	0,81	80,5	4	60
222121	1	5	0,78	88	4	60
222124	1	2	0,78	84,2	4	60
222118	3	25	0,81	92,8	4	60
		3	0,83	85,1	4	60
		1,5	0,79	81,6	4	60
222120	4	2x25	0,81	92,8	4	60
		5	0,78	88	4	60
		1	0,81	80,5	4	60
222123	2	40	0,85	93,4	4	60
		5	0,78	88	4	60
222122	5	2x10	0,9	85	4	60
		2x3	0,83	85,1	4	60
		1	0,81	80,5	4	60
222125	7	6x20	0,81	92,4	4	60
		5	0,78	88	4	60
222127	2	20	0,81	92,4	4	60
		3	0,83	85,1	4	60
222126	3	2x20	0,81	92,4	4	60
		3	0,83	85,1	4	60
TOTAL	33	383				

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, (2019).

O Quadro 06 apresenta os dados dos motores de alto rendimento, substituindo os motores apresentados no Quadro 05.

Quadro 06: Código da máquina, quantidades de motores e dados da placa

MOTORES DE ALTO RENDIMENTO						
CÓDIGO DAS MÁQUINAS	QUANTIDADE DE MOTORES	POTÊNCIA EM CV	FATOR DE POTÊNCIA (COS ϕ)	RENDIMENTO	Nº DE POLOS	FREQUÊNCIA Hz
222114	1	20	0,82	93,4	4	60
222115	2	5	0,77	89,5	4	60
222119	2	1,5	0,8	84	4	60
		1	0,82	83	4	60
222121	1	5	0,77	89,5	4	60
222124	1	2	0,8	86,5	4	60
222118	3	25	0,81	93,8	4	60
		3	0,81	87,5	4	60
		1,5	0,8	84	4	60
222120	4	2x25	0,81	93,8	4	60
		5	0,77	89,5	4	60
		1	0,82	83	4	60
222123	2	40	0,84	94,4	4	60
		5	0,77	89,5	4	60
222122	5	2x10	0,9	85	4	60
		2x3	0,81	87,5	4	60
		1	0,82	83	4	60
222125	7	6x20	0,82	93,4	4	60
		5	0,77	89,5	4	60
222127	2	20	0,82	93,4	4	60
		3	0,81	87,5	4	60
222126	3	2x20	0,82	93,4	4	60
		3	0,81	87,5	4	60
TOTAL	33	383				

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, (2019).

4.3 Cálculo das correções de F.P nos motores

Foram calculados os valores necessários dos capacitores a serem utilizados, para chegar em uma correção de F.P de 0,92 em cada motor.

Foram utilizadas as seguintes equações:

$$Dm = \frac{Pcv \cdot 0,736}{n} \quad (18)$$

Dm- Demanda do Motor (kW);

Pcv- Potência em cv do motor;

n- rendimento do motor.

$$Qc = Fm \times Dm = (kVAR) \quad (19)$$

Qc- Valor do capacitor (kVAr);

Fm- Fator multiplicador;

Dm- Demanda do motor;(kW).

A seguir apresenta-se os cálculos para motores *standard* e de alto rendimento.

A partir do Quadro 05 tem-se a seguinte relação de cálculos, conforme as potências nos diferentes motores utilizados:

Motor 1CV

$$Dm = \frac{1 \cdot 0,736}{0,805} = \mathbf{0,914kW}$$

$$Qc = 0,298 \times 0,914 = \mathbf{0,272 kVAr}$$

Motor 1,5CV

$$Dm = \frac{1,5 \cdot 0,736}{0,816} = \mathbf{1,353kW}$$

$$Q_c = 0,350 \times 1,353 = 0,473 \text{ kVAr}$$

Motor 2CV

$$D_m = \frac{2 \cdot 0,736}{0,842} = 1,748 \text{ kW}$$

$$Q_c = 0,376 \times 1,748 = 0,657 \text{ kVAr}$$

Motor 3CV

$$D_m = \frac{3 \cdot 0,736}{0,851} = 2,594 \text{ kW}$$

$$Q_c = 0,246 \times 2,594 = 0,638 \text{ kVAr}$$

Motor 5CV

$$D_m = \frac{5 \cdot 0,736}{0,88} = 4,182 \text{ kW}$$

$$Q_c = 0,376 \times 4,182 = 1,572 \text{ kVAr}$$

Motor 10CV

$$D_m = \frac{10 \cdot 0,736}{0,85} = 8,659 \text{ kW}$$

$$Q_c = 0,030 \times 8,659 = 0,259 \text{ kVAr}$$

Motor 20CV

$$D_m = \frac{20 \cdot 0,736}{0,924} = 15,931 \text{ kW}$$

$$Q_c = 0,298 \times 15,931 = 4,747 \text{ kVAr}$$

Motor 25CV

$$D_m = \frac{25 \cdot 0,736}{0,928} = 19,827 \text{ kW}$$

$$Q_c = 0,298 \times 19,827 = 5,908 \text{ kVAr}$$

Motor 40CV

$$D_m = \frac{40 \cdot 0,736}{0,934} = 31,520 \text{ kW}$$

$$Q_c = 0,194 \times 31,520 = 6,114 \text{ kVAr}$$

O Quadro 07, apresenta a compilação das informações do Quadro 05 com os cálculos de correção de F.P apresentados para motores *standard* que em consideração a quantidade e potência dos motores de cada máquina e equipamento, apresenta também os valores de correção por equipamento.

O Quadro 08, apresenta valores comerciais mais próximos dos necessários para uma possível correção do F.P de cada máquina e equipamento.

Quadro 09 apresenta os valores de capacitores, necessários em cada máquina e equipamento, com seus valores de corrente nominal em um sistema de 380V de tensão de linha, desta forma pode-se, ser dimensionado os contadores para acionamento e o sistema de proteção com disjuntores e fusíveis para uma possível instalação.

Lembrando que esses capacitores foram escolhidos com valores para uma possível instalação de modo individual por máquina e equipamento, no caso de se saber a condição de efetiva apresentação de cada motor da linha, determinando-se a curva de carga, pode-se dimensionar um banco de capacitores automático para a potência total, para uma maior solicitação de correção, que poderia resultar em quantidades menores de capacitores com valores maiores de potência (kVAr) conseqüentemente tendo uma redução de custo com a compra de capacitores, porém com soma de custo pela necessidade de um controlador de F.P.

Quadro 07: valores totais de potência kVAr de cada máquina e equipamento

MOTORES STANDARD					
CÓDIGO DAS MÁQUINAS	QUANTIDADE DE MOTORES	POTÊNCIA EM CV	FATOR DE POTÊNCIA (COS ϕ)	POTÊNCIA EM kVAr DE CADA MOTOR PARA CORREÇÃO DE UM F.P CHEGAR EM 0,92	VALOR TOTAL EM kVAr POR MÁQUINA
222114	1	20	0,81	4,747	4,747
222115	1	5	0,78	1,572	1,572
222119	2	1,5	0,79	0,473	0,745
		1	0,81	0,272	
222121	1	5	0,78	1,572	1,572
222124	1	2	0,78	0,657	0,657
222118	3	25	0,81	5,908	7,019
		3	0,83	0,638	
		1,5	0,79	0,473	
222120	4	2x25	0,81	5,908x2	13,66
		5	0,78	1,572	
		1	0,81	0,272	
222123	2	40	0,85	6,114	7,686
		5	0,78	1,572	
222122	5	2x10	0,9	0,259x2	2,066
		2x3	0,83	0,638x2	
		1	0,81	0,272	
222125	7	6x20	0,81	4,747x6	30,054
		5	0,78	1,572	
222127	2	20	0,81	4,747	5,385
		3	0,83	0,638	
222126	3	2x20	0,81	4,747x2	10,132
		3	0,83	0,638	
TOTAL	32	383	–	–	85,295

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, (2019).

Quadro 08: Valores de capacitores a serem usados em cada máquina e equipamento

MOTORES STANDARD		
CÓDIGO DA MÁQUINA E EQUIPAMENTO	POTÊNCIA EM KVAR POR MÁQUINA E EQUIPAMENTO PARA CORREÇÃO DO F.P CHEGAR EM 0,92	POTÊNCIA DE CAPACITORES UTILIZADOS, VALORES COMERCIAIS EM kVAr
222114	4,747	5
222115	1,572	1 + 0,5
222119	0,745	0,75
222121	1,572	1 + 0,5
222124	0,657	0,75
222118	7,019	5 + 2
222120	13,66	12,5 + 1
222123	7,686	7,5
222122	2,066	2
222125	30,054	25 + 5
222127	5,385	5 + 0,5
222126	10,132	10
TOTAL	85,295	85,000

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, (2019).

Quadro 09: Capacitores, Contatores e sistema de proteção para uma possível instalação de capacitores

MOTORES STANDARD									
TENSÃO (V)	POTÊNCIA DE CAPACITORES UTILIZADOS, VALORES COMERCIAIS kVAr	CORRENTE E NOMINAL (A)	VALOR DE CAPACITOR R\$	MODELO DE CONTATORES	VALOR UNITÁRIO R\$	MODELO DE DISJUNTORES	VALOR UNITÁRIO R\$	VALOR FÚSIVEL GL/gG (A)	VALOR UNITÁRIO R\$
380	5	7,6	138	CWMC09	153	-	-	16	9
	1 + 0,5	1,5 + 0,8	75+72	CWMC09	153	-	-	4	9
	0,75	1,1	72	CWMC09	153	-	-	2	9
	1 + 0,5	1,5 + 0,8	75+72	CWMC09	153	-	-	4	9
	0,75	1,1	72	CWMC09	153	-	-	2	9
	5 + 2	7,6 + 3	138 + 95	CWMC09	153	-	-	20	9
	12,5 + 1	19 + 1,5	231 + 75	CWMC18	161	DWB160B32-3DX	322	30	11
	7,5	11,4	183	CWMC09	153	DWB160B16-3DX	301	20	9
	2	3	95	CWMC09	153	-	-	6	9
	25 + 5	38 + 7,6	458 + 138	CWMC32	243	DWB160B50-3DX	335	80	14
5 + 0,5	7,6 + 0,8	138 + 72	CWMC09	153	-	-	16	9	

10	15,2	214	CWMC09	153	DWB160B25-3DX	301	25	9
85	129,1	2.413	-	1.934	-	1.259	225	115
VALOR TOTAL R\$ 5.721								

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, (2019).

A partir do Quadro 06 tem-se a seguinte relação de cálculos, conforme as potências nos diferentes motores utilizados:

Motor 1CV

$$D_m = \frac{1 \cdot 0,736}{0,83} = \mathbf{0,805kW}$$

$$Q_c = 0,272 \times 0,805 = \mathbf{0,219 kVAr}$$

Motor 1,5CV

$$D_m = \frac{1,5 \cdot 0,736}{0,84} = \mathbf{1,314kW}$$

$$Q_c = 0,324 \times 1,314 = \mathbf{0,426 kVAr}$$

Motor 2CV

$$D_m = \frac{2 \cdot 0,736}{0,865} = \mathbf{1,701kW}$$

$$Q_c = 0,324 \times 1,701 = \mathbf{0,551 kVAr}$$

Motor 3CV

$$D_m = \frac{3 \cdot 0,736}{0,875} = \mathbf{2,523kW}$$

$$Q_c = 0,298 \times 2,523 = \mathbf{0,752 kVAr}$$

Motor 5CV

$$Dm = \frac{5 \cdot 0,736}{0,895} = \mathbf{4,112kW}$$

$$Qc = 0,403 \times 4,112 = \mathbf{1,657 kVAr}$$

Motor 10CV

$$Dm = \frac{10 \cdot 0,736}{0,85} = \mathbf{8,659kW}$$

$$Qc = 0,030 \times 8,659 = \mathbf{0,259 kVAr}$$

Motor 20CV

$$Dm = \frac{20 \cdot 0,736}{0,934} = \mathbf{15,760kW}$$

$$Qc = 0,272 \times 15,760 = \mathbf{4,287 kVAr}$$

Motor 25CV

$$Dm = \frac{25 \cdot 0,736}{0,938} = \mathbf{19,616kW}$$

$$Qc = 0,298 \times 19,616 = \mathbf{5,845 kVAr}$$

Motor 40CV

$$Dm = \frac{40 \cdot 0,736}{0,944} = \mathbf{31,186kW}$$

$$Qc = 0,220 \times 31,186 = \mathbf{6,861 kVAr}$$

O Quadro 10, apresenta a compilação das informações do Quadro 06 com os cálculos de correção de F.P apresentados para motores de alto rendimento que em consideração a quantidade e potência dos motores de cada máquina e equipamento, apresenta também os valores de correção por equipamento.

O Quadro 11, apresenta valores comerciais mais próximos dos necessários para uma possível correção do F.P de cada máquina e equipamento.

O Quadro 12 apresenta os valores de capacitores, necessários em cada máquina e equipamento, com seus valores de corrente nominal em um sistema de 380V de tensão de linha, desta forma pode-se, ser dimensionado os contadores para acionamento e o sistema de proteção com disjuntores e fusíveis para uma possível instalação.

Quadro 10: Valores totais de potência kVAr de cada máquina e equipamento

MOTORES DE ALTO RENDIMENTO					
CÓDIGO DAS MÁQUINAS	QUANTIDADE DE MOTORES	POTÊNCIA EM CV	FATOR DE POTÊNCIA (COS ϕ)	POTÊNCIA EM kVAr DE CADA MOTOR PARA CORREÇÃO DE UM F.P CHEGAR EM 0,92	VALOR TOTAL EM kVAr POR MÁQUINA
222114	1	20	0,82	4,287	4,287
222115	1	5	0,77	1,657	1,657
222119	2	1,5	0,8	0,426	0,645
		1	0,82	0,219	
222121	1	5	0,77	1,657	1,657
222124	1	2	0,8	0,551	0,551
222118	3	25	0,81	5,845	7,023
		3	0,81	0,752	
		1,5	0,8	0,426	
222120	4	2x25	0,81	5,845x2	13,566
		5	0,77	1,657	
		1	0,82	0,219	
222123	2	40	0,84	6,861	8,518
		5	0,77	1,657	
222122	5	2x10	0,9	0,259x2	2,241
		2x3	0,81	0,752x2	
		1	0,82	0,219	
222125	7	6x20	0,82	4,287x6	27,379
		5	0,77	1,657	
222127	2	20	0,81	4,287	5,039

		3	0,83	0,752	
222126	3	2x20	0,81	4,287x2	8,574
		3	0,83	0,752	
TOTAL	32	383	-	-	81,096

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, (2019).

Quadro 11: Valores de capacitores a serem usados em cada máquina e equipamento

MOTORES DE ALTO RENDIMENTO		
CÓDIGO DA MÁQUINA E EQUIPAMENTO	POTÊNCIA EM KVAR POR MÁQUINA E EQUIPAMENTO PARA CORREÇÃO DO F.P CHEGAR EM 0,92	POTÊNCIA DE CAPACITORES COM FORME VALORES COMERCIAIS EM kVar
222114	4,287	2,5 + 2
222115	1,657	1 + 0,75
222119	0,645	0,75
222121	1,657	1 + 0,75
222124	0,551	0,5
222118	7,023	5 + 2
222120	13,566	12,5 + 1
222123	8,518	7,5 + 1
222122	2,241	1,5 + 0,75
222125	27,379	25 + 2,5
222127	5,039	5
222126	8,574	7,5 + 1
TOTAL	81,096	83,25

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, (2019).

Quadro 12: Contatores e sistema de proteção para uma possível instalação dos capacitores

MOTORES DE ALTO RENDIMENTO									
TENSÃO (V)	POTÊNCIA DE CAPACITORES COM FORME VALORES COMERCIAIS KVAR	CORRENTE NOMINAL (A)	VALOR UNITÁRIO R\$	MODELO DE CONTADORES	VALOR UNITÁRIO R\$	MODELO DE DISJUNTORES	VALOR UNITÁRIO R\$	VALOR FÚSIVEL GL/gG (A)	VALOR UNITÁRIO R\$
380	2,5 + 2	3,8 + 3	102 + 95	CWMC09	153	-	-	16	9
	1 + 0,75	1,5 + 1,1	75 + 72	CWMC09	153	-	-	4	9
	0,75	1,1	72	CWMC09	153	-	-	2	9
	1 + 0,75	1,5 + 1,1	75 + 72	CWMC09	153	-	-	4	9
	0,5	0,8	72	CWMC09	153	-	-	2	9
	5 + 2	7,6 + 3	138 + 95	CWMC09	153	-	-	20	9
	12,5 + 1	19 + 1,5	231 + 75	CWMC18	161	DWB160B32-3DX	322	30	11
	7,5 + 1	11,4 + 1,5	183 + 75	CWMC09	153	DWB160B16-3DX	301	20	9
	1,5 + 0,75	2,3 + 1,1	82 + 72	CWMC09	153	-	-	6	9
	25 + 2,5	38 + 3,8	458 + 102	CWMC32	243	DWB160B50-3DX	335	80	14
	5	7,6	138	CWMC09	153	-	-	16	9
	7,5 + 1	11,4 + 1,5	183 + 75	CWMC09	153	DWB160B25-3DX	301	25	9
	83,25	123,6	2.542	-	1.934	-	1.259	225	115
	VALOR TOTAL R\$ 5.850								

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, (2019).

Chega-se como conclusão final do estudo de correção do fator de potência, um ponto importante em relação aos motores com alto rendimento, pois nem sempre o F.P é maior que o dos motores *standard*, podendo assim desnivelar a correção do F.P da aplicação de melhoria da eficiência energética.

4.4 Análise econômica da substituição de motores *standard* por motores de alto rendimento

O Quadro 13, apresenta duas linhas de motores da marca WEG, para ser usado como exemplo para este estudo, algumas características técnicas e o orçamento com valores individuais, porém não será divulgadas informações sobre a empresa aonde foi feito este orçamento, por questões de privacidade.

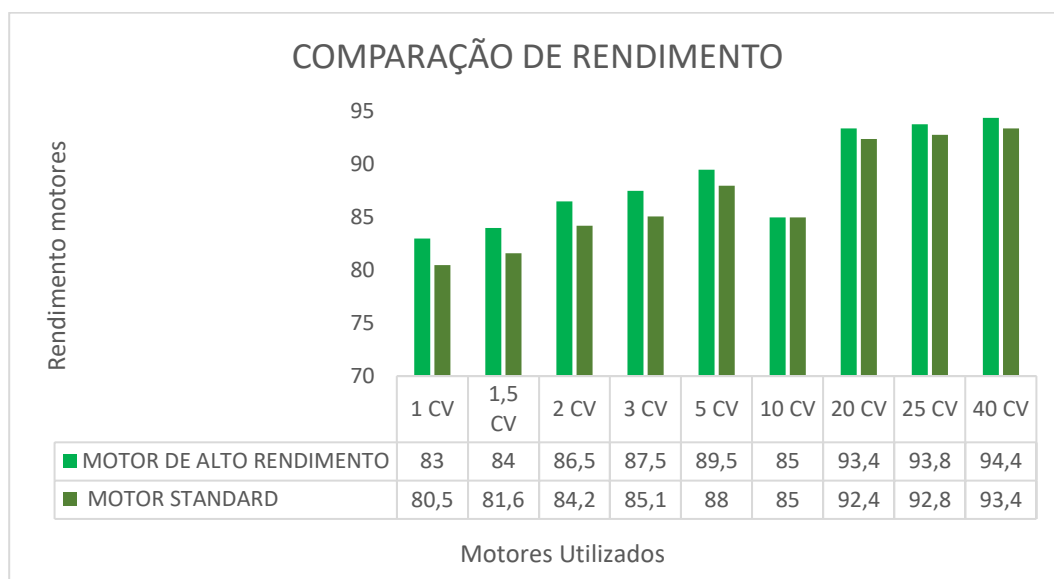
Quadro 13: Características técnicas dos motores e seu respectivo custo.

LINHA DO PRODUTO						
W22 IR2 TRIFÁSICO (ROTOR DE GAIOLA)						
Potência	Nº polos	Frequência	T Nominal	Rendimento %	F.P	Valor R\$
1,5 cv	4	60 Hz	220/380/440 V	81,6	0,79	870,00
1 cv	4	60 Hz	220/380/440 V	80,5	0,81	635,67
2 cv	4	60 Hz	220/380/440 V	84,2	0,78	1080,00
3 cv	4	60 Hz	220/380/440 V	85,1	0,83	1327,35
5 cv	4	60 Hz	220/380/440 V	88	0,78	1832,00
20 cv	4	60 Hz	380/660 V	92,4	0,81	5.627,91
25 cv	4	60 Hz	380/660 V	92,8	0,81	6.510,91
40 cv	4	60 Hz	380/660 V	93,4	0,85	12.338,68
10 cv	2	60 Hz	220/380 V	85	0,9	4.478,20
TOTAL	0	0	0	0	0	34.700,72
LINHA DO PRODUTO						
W22 IR3 TRIFÁSICO (ROTOR DE GAIOLA)						
1,5 cv	4	60 Hz	220/380/440 V	84	0,8	1334,00
1 cv	4	60 Hz	220/380/440 V	83	0,82	1.209,77
2 cv	4	60 Hz	220/380/440 V	86,5	0,8	1.676,16
3 cv	4	60 Hz	220/380/440 V	87,5	0,81	1.907,92
5 cv	4	60 Hz	220/380/440 V	89,5	0,77	2.503,03
20 cv	4	60 Hz	380/660 V	93,4	0,82	7.149,54
25 cv	4	60 Hz	380/660 V	93,8	0,81	8.279,74
40 cv	4	60 Hz	380/660 V	94,4	0,84	14.502,00
10 cv	2	60 Hz	220/380 V	85	0,9	4.478,20
TOTAL	0	0	0	0	0	43.040,36

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, (2019).

O Gráfico 1 mostra a comparação do rendimento das 2 linhas de motores utilizados neste estudo.

Gráfico 1: Comparação de rendimento das 2 linhas de motores.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR, (2019).

O Quadro 14, apresenta a diferença de investimento inicial, individual de cada motor entre as duas linhas apresentadas de motores.

Quadro 14: Potência dos motores e sua diferença de investimento inicial.

MOTORES TRIFÁSICOS (ROTOR GAIOLA) – MARCA WEG	
POTENCIA DOS MOTORES (CV)	DIFERENÇA DE CUSTO EM (R\$)
1,5	464
1	574,1
2	596,16
3	580,57
5	671,03
10	0
20	1.521,63
25	1.768,83
40	2.163,32
TOTAL	8.339,64

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, (2019).

Para realizar a análise econômica foi necessário calcular a diferença de energia consumida (kWh), e multiplica-la pela tarifa de energia (R\$/kWh). As equações apresentam a forma de cálculo da diferença de energia consumida (E) e o custo (C) desta energia, respectivamente.

$$C = E \cdot T \quad (22)$$

Onde:

C - Custo de energia consumida no período, em R\$;

T - Tarifa de energia considerada, em R\$/kWh;

E - Energia consumida no período, em kWh.

$$E = 0,736 \cdot H \cdot P \cdot \left(\frac{1}{\eta} - \frac{1}{\eta_{ar}} \right) \quad (23)$$

Onde:

E : Energia consumida no período, em kWh;

H : Tempo de operação do motor no período, em horas;

P : Potência mecânica nominal do motor, em cavalos;

η : Rendimento nominal do motor, em %;

η_{ar} : Rendimento nominal do motor de alto rendimento, em %.

Para realizar os cálculos foi levado em consideração uma jornada de trabalho (H) de 8,8 horas diárias, por que normalmente é 1 turno e todos os motores operam durante todo o turno. Foi utilizado o valor de tarifa da CELESC para o grupo A fora de ponta, que garante uma segurança de se obter o mínimo gasto, para consumidor com fornecimento de energia em tensão primária (Alta tensão > 2300V). Utilizando-se $T=R\$ 0,36506/kWh$.

A seguir apresenta-se os cálculos de diferença de energia consumida e o respectivo custo para as potências de motores utilizados na linha.

Motor 1CV

$$E = 0,736 \cdot 8,8 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1}{0,805} - \frac{1}{0,83} \right) = 0,242 \text{ kWh}$$

$$C = 0,242 \times 0,36506 = \text{R\$0,0883}$$

Motor 1,5CV

$$E = 0,736 \cdot 8,8 \cdot 1,5 \cdot \left(\frac{1}{0,816} - \frac{1}{0,84} \right) = 0,340 \text{ kWh}$$

$$C = 0,340 \times 0,36506 = \text{R\$0,124}$$

Motor 2CV

$$E = 0,736 \cdot 8,8 \cdot 2 \cdot \left(\frac{1}{0,842} - \frac{1}{0,865} \right) = 0,409 \text{ kWh}$$

$$C = 0,409 \times 0,36506 = \text{R\$0,149}$$

Motor 3CV

$$E = 0,736 \cdot 8,8 \cdot 3 \cdot \left(\frac{1}{0,851} - \frac{1}{0,875} \right) = 0,626 \text{ kWh}$$

$$C = 0,626 \times 0,36506 = \text{R\$0,228}$$

Motor 5CV

$$E = 0,736 \cdot 8,8 \cdot 5 \cdot \left(\frac{1}{0,88} - \frac{1}{0,895} \right) = 0,617 \text{ kWh}$$

$$C = 0,617 \times 0,36506 = \text{R\$0,225}$$

Motor (Motosserra)10CV

$$E = 0,736 \cdot 8,8 \cdot 10 \cdot \frac{1}{0,85} - \frac{1}{0,85} = 0 \text{ kWh}$$

$$C = 0 \times 0,36506 = \mathbf{R\$0}$$

Obs: Para esta potência de motor foi encontrado apenas no modelo standard por este motivo a diferença de energia consumida e o respectivo custo são nulos.

Motor 20CV

$$E = 0,736 \cdot 8,8 \cdot 20 \cdot \frac{1}{0,924} - \frac{1}{0,934} = \mathbf{1,50 kWh}$$

$$C = 1,50 \times 0,36506 = \mathbf{R\$0,548}$$

Motor 25CV

$$E = 0,736 \cdot 8,8 \cdot 25 \cdot \frac{1}{0,928} - \frac{1}{0,938} = \mathbf{1,86 kWh}$$

$$C = 1,86 \times 0,36506 = \mathbf{R\$0,679}$$

Motor 40CV

$$E = 0,736 \cdot 8,8 \cdot 40 \cdot \frac{1}{0,934} - \frac{1}{0,944} = \mathbf{2,94 kWh}$$

$$C = 2,94 \times 0,36506 = \mathbf{R\$1,073}$$

O Quadro 15 mostra a potência dos motores, seu rendimento e a economia diária em 8,8 horas de trabalho dos motores, conforme os cálculos apresentados.

Quadro 15: Comparação da economia diária em R\$ dos motores *standard* para os de alto rendimento

MOTORES UTILIZADOS (CV)	RENDIMENTO DO MOTOR STANDARD	RENDIMENTO DO MOTOR DE ALTO RENDIMENTO	DIFERENÇA DE CUSTO DO KWh, REFERENTE AO MOTORES ESTANDARD E O DE ALTO RENDIMENTO, COMPARAÇÃO DE 1 DIA DE TRABALHO EM (R\$)	QUANTIDADE TOTAL DE MOTORES (CV)	DIFERENÇA TOTAL EM (R\$)
1	80,5	83	0,088	3	0,264
1,5	81,6	84	0,124	2	0,248
2	84,2	86,5	0,149	1	0,149
3	85,1	87,5	0,228	5	1,14
5	88	89,5	0,225	5	1,125
10	85	85	0	2	0
20	92,4	93,4	0,547	10	5,47
25	92,8	93,8	0,679	3	2,037
40	93,4	94,4	1,073	1	1,073
TOTAL(R\$)	0	0	3,113	32	11,506

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, (2019).

O Quadro 16 apresenta os valores de economia em 1 mês de trabalho desses motores, sendo considerado 22 dias, trabalhados 8,8 horas por dia.

Quadro 16: Comparação da economia em R\$ dos motores *standard* para os de alto rendimento, em 1 mês.

MOTORES UTILIZADOS (CV)	DIFERENÇA DE CUSTO DO KWh, REFERENTE A CADA MOTOR STANDARD E O DE ALTO RENDIMENTO, COMPARAÇÃO DE 1 MÊS DE TRABALHO EM (R\$)
1	1,936
1,5	2,728
2	3,278
3	5,016
5	4,95
10	0,000
20	12,034
25	14,938
40	23,606
TOTAL(R\$)	68,486

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, (2019).

O Quadro 17 apresenta os valores de economia em 1 ano de trabalho dos motores.

Quadro 17: Comparação da economia em R\$ dos motores *standard* para os de alto rendimento, em 1 ano.

MOTORES UTILIZADOS (CV)	DIFERENÇA DE CUSTO DO kWh, REFERENTE AO TOTAL DE MOTORES <i>STANDARD</i> E O DE ALTO RENDIMENTO, COMPARAÇÃO DE 1 ANO DE TRABALHO EM (R\$)
	96,36
1,5	90,52
2	53,64
3	416,1
5	410,625
10	0,000
20	1.996,55
25	743,505
40	386,28
TOTAL(R\$)	3.782,955

Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

4.4.1 Tempo de retorno Simples

Após obter o consumo e o custo evitados e também os valores (R\$) de cada motor, pode-se utilizar o método de retorno simples para auxiliar na decisão entre qual motor apresenta maior vantagem. Sendo utilizado a Equação 24, para a realização dos cálculos.

$$tRS = \frac{\Delta C}{EcoR\$mensal} \quad (24)$$

Onde:

tRS - Tempo de retorno simples

ΔC - Custo do investimento;

EcoR\$mensal - Economia por mês em reais;

Como está sendo considerado um retorno em parcelas mensais, o valor obtido com a equação acima deverá ser arredondado para o próximo inteiro.

O Quadro 18 apresenta o tempo de retorno simples dos motores utilizados neste estudo, valores apresentados em meses e anos.

Quadro 18: Tempo de retorno simples, de investimento.

MOTORES UTILIZADOS (CV)	RENDIMENTO DO MOTOR STANDARD	RENDIMENTO DO MOTOR DE ALTO RENDIMENTO	TEMPO DE RETORNO DE INVESTIMENTO EM MESES	TEMPO DE RETORNO DE INVESTIMENTO EM ANOS
1	80,5	83	170	14
1,5	81,6	84	296	25
2	84,2	86,5	182	15
3	85,1	87,5	116	10
5	88	89,5	135	11
10	85	85	0	0
20	92,4	93,4	126	11
25	92,8	93,8	119	10
40	93,4	94,4	92	8

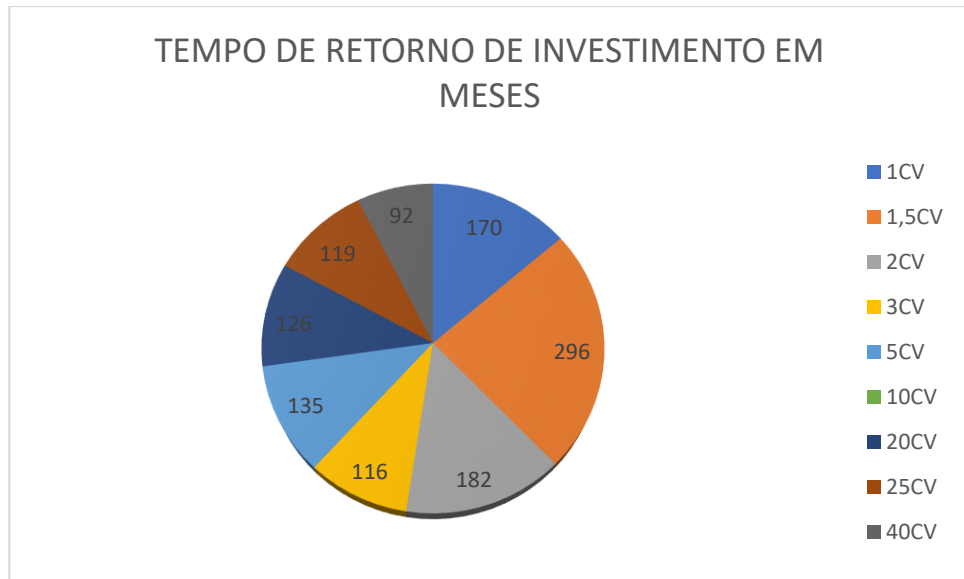
Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Chega-se como conclusão final do estudo de análise do uso de motores de alto rendimento, dois pontos importantes, a diferença de rendimento, quanto maior for a diferença do rendimento dos motores analisados, mais rápido é o retorno de investimento, porém deve-se ser levado em consideração o custo destes motores, o quanto mais próximo o investimento inicial dos motores a serem analisados, mais curto é o retorno deste investimento também, com isso destaca-se a importância de um orçamento bem feito.

O Gráfico 2 mostra a comparação de retorno simples, de investimento em meses com relação a potência de cada motor.

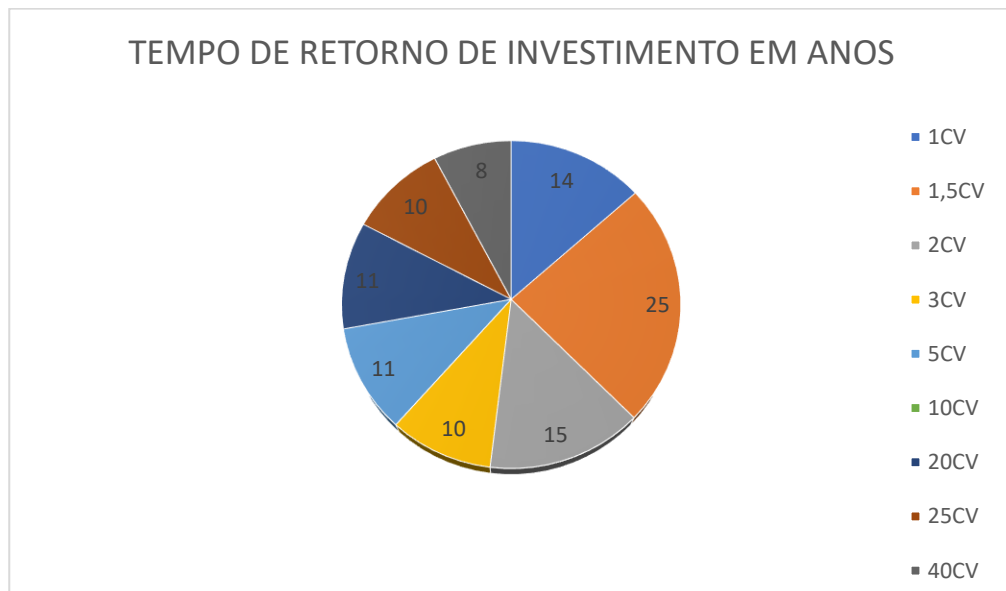
O Gráfico 3 mostra a comparação de retorno simples, de investimento em anos com relação a potência de cada motor.

Gráfico 2: Comparação de retorno simples, em meses com forme a potência de cada motor.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

Gráfico 3: Comparação de retorno simples, em anos com forme a potência de cada motor.



Fonte: PRÓPRIO AUTOR (2019).

5 CONCLUSÕES

Fazer a correção do fator de potência independente do método utilizado, é de fundamental importância em qualquer instalação industrial, porque reduz perdas de energia, carregamento dos circuitos, quedas de tensão e também evita as multas previstas na legislação

Há uma grande necessidade em se ter uma maior eficiência do consumo de energia elétrica, em todos os setores socioeconômicos do Brasil, pois a economia de energia elétrica é um assunto de grande relevância podendo resultar numa maior sustentabilidade de negócio e de caráter ecológico, esta última bem ressaltada pela mídia em geral.

Fala-se tanto em possibilidade de racionamento de energia, blecaute, aplicação de multas por desperdício, com todo o desenvolvimento industrial que se tem hoje, o uso eficiente de energia deve ser uma busca constante, e não somente nas épocas de crise.

A conservação de energia está baseada em ações técnicas e gerenciais que buscam eliminar os desperdícios, isto é uma questão de atitude, sendo um bom exemplo a troca de motores convencionais por motores de maior rendimento, que é um dos temas abordados neste trabalho.

A respeito dos resultados obtidos neste trabalho pode-se observar que a correção do fator de potência em motores elétricos é um assunto não tão complicado de se resolver, a implementação de capacitores para que possa ser feito este processo é o método mais indicado. A forma de instalação dos capacitores, depende muito de cada situação, que precisa ser analisado comparando as formas de instalação.

A utilização de bancos de capacitores automático se justifica pelo controle melhor do fator de potência onde os motores não trabalhando a 100% da carga nominal, e não 100% do tempo de operação dos equipamentos.

Em relação a correção do F.P diretamente na máquina e não com um banco de capacitores controlado automático, se torna mais atrativa quando se tem uma linha de produção rodando na empresa, e se revolve ampliar esta linha, com mais três máquinas por exemplo, e o circuito de alimentação destas máquinas já está quase no limite em relação a cabeamento e proteção, a correção mais próxima aos motores elétricos consegue reduzir a corrente necessária para seu funcionamento, podendo viabilizar a expansão sem reforço dos alimentadores de força existente.

A segunda parte do estudo de caso, foi desvincular da correção do F.P da aplicação de melhoria da eficiência energética, onde a substituição de motores *standard* (convencionais), por motores com maior rendimento, onde pode-se observar a grande diferença, tanto no consumo de energia elétrica quanto na economia financeira que se tem, pois um motor com suas condições de trabalho adequadas pode durar mais de 10 anos, sabe-se que o motor de alto rendimento tem um custo mais elevado inicialmente, mais pensando do ponto de vista energético, meio ambiente, e retorno econômico justifica levar em consideração esse tipo de substituição, principalmente em equipamentos novos, onde não se tem a perda dos motores que já estão instalado e trabalhando normalmente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasília/df). Anel (Comp.). **Diversos**. 2019. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/srd>>. Acesso em: 05 mar. 2019.

AGOSTINHO, Fábio Ribeiro et al. Estudo sobre a viabilidade financeira na atualização tecnológica de uma planta fabril: Utilização de motores elétricos de alta eficiência e iluminação LED. **Study On The Financial Viability In Technological Updating Of A Manufacturing Plant: Use Of High Efficiency Electric Motors And Led Lighting**, Florianópolis, v. 38, n. 12, p.1-12, 29 set. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (São Paulo). Abinee (Comp.). **Pesquisas**. 2019. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/searchr.htm?q=motores%20de%20alto%20rendimento>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

CAGNON, Prof. Dr. Jos Prof. Dr. Jos é Angelo Cagnon Angelo. **FATOR DE POTÊNCIA**. 2007. Disponível em: <<http://www4.feb.unesp.br/dee/docentes/cagnon/ENERGIA/FATOR%20DE%20POTENCIA.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2019.

CELESC DISTRIBUIÇÃO. **TARIFAS**. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/1140-tarifa>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

ENGELETRICA (Santa Catarina) (Org.). **MANUAL DE CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA**: Legislação Atual. 2011. Informações diretas do site. Disponível em: <<http://www.engeletrica.com.br/fatordepotencia-manual-legislacao-atual.html>>. Acesso em: 11 maio 2019.

FERNANDES, Ueslei Barbosa et al. ANÁLISE ECONÔMICA NA ESPECIFICAÇÃO DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO. **Universidade Federal de Uberlândia**, Minas Gerais, v. 4, n. 8, p.1-6, 31 set. 2009.

[HTTPS://WWW.FEIS.UNESP.BR](https://www.feis.unesp.br) (Santa Catarina). Feis Unesp (Comp.). **Correção do Fator de Potência em Sistemas Industriais**. 2013. Disponível em: <<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/capitulo-4-2013-2s.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2019.

MICERINO, Fabio Jose. **IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO E SUA APLICAÇÃO NO LEILÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. 2019. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MILL INDUSTRIAS LTDA (Santa Catarina). **EQUIPAMENTOS**. Disponível em: <<http://www.mill.com.br/project/esteiras-e-geral/>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (Brasil) (Comp.). **Diversos**. 2019. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

PEREIRA, Ricardo Fazonato et al. **CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA: ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM BANCO CAPACITOR EM UMA EMPRESA DE MINERAÇÃO LOCALIZADA EM CATAGUASES - MG**. 2015. XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP). Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_214_267_27339.pdf>. Acesso em: 14 maio 2019.

PROCEL (Comp.). **MANUAL DE TARIFAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA**. 2001. PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <http://www.sef.sc.gov.br/arquivos_portal/assuntos/9/manual_de_tarifacao.pdf>. Acesso em: 14 maio 2019.

QUADRO DA ELÉTRICA CONHECIMENTO PARA TODOS. **Aprenda a corrigir o fator de potência rápido e fácil**: Tabela do fator multiplicador. 2018. Disponível em: <<https://www.quadrodaeletrica.com.br/2018/09/aprenda-corriger-fator-de-potencia.html>>. Acesso em: 15 maio 2019.

SANTA CATARINA. ANEL. . **Nota técnica n° 0083/2012-SRD/ANEEL**: Fator de potência. 2012. Disponível em: <nota técnica n° 0083/2012-SRD/ANEEL>. Acesso em: 09 maio 2019.

SCHAEFF, Diogo Atiê; MACHADO, Geomar. **ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO DE ALTO RENDIMENTO EM SUBSTITUIÇÃO A MOTORES STANDARD**. 2019. 28 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria- Ufsm, Santa Maria, 2015.

SERAFIM, Prof. Dr. Emerson S.. **Analisar o fator de potência de um motor**. Material retirado de uma apresentação em Power point. Disponível em:

<https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/5/58/Aula_5_Maquinas_Eletricas_II_-_H7_Fator_Pot_06-11.pdf>. Acesso em: 11 maio 2019.

SILVA, Carlos Alberto Vaz da et al. **FLORESTAMENTO NA REGIÃO SUL DO BRASIL: UMA ANÁLISE ECONÔMICA**. 2003. Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul – BRDE. Disponível em: <http://www.brde.com.br/media/brde.com.br/doc/estudos_e_pub/Florestamento%20na%20Regiao%20Sul%20do%20Brasil.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2019.

TEIXEIRA, Rafael Saadi Dantas; CALILI, Rodrigo Flora. **Análise de dados direcionada ao mercado de motores reformados pela indústria**: Análise de dados direcionada ao mercado de motores reformados pela indústria. 2019. 29 f. Monografia (Especialização) - Curso de Metrologia, Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.procobre.org/pt/wp-content/uploads/sites/4/2019/06/analise-de-dados-direcionada-ao-merca>>. Acesso em: 21 jun. 2019.

VIEIRA JÚNIOR, Prof. José Carlos de Melo. **Eficiência Energética**: Correção do Fator de Potência. 2017. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3314542/mod_resource/content/1/SEL0437_Aula06_CorrecaoFP_2017.pdf>. Acesso em: 15 maio 2019.

WEG (Comp.). **Transformando energia em soluções**: Manual para Correção do Fator de Potência. Disponível em: <http://www4.feb.unesp.br/dee/docentes/cagnon/instala_2/manual_fator_potencia.pdf>. Acesso em: 26 maio 2019.

WEG. **NOVO PADRÃO DE RENDIMENTO DOS MOTORES ELÉTRICOS: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO SOLUÇÃO**. 2017. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h7f/h0e/WEG-novo-padrao-rendimento-motores-eletricos-IR3.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2019.