

LEONARDO FERNANDES CAMARGO

Motores Elétricos de baixa tensão:
Rebobinar ou trocar?

SÃO PAULO
2017

LEONARDO FERNANDES CAMARGO

Motores Elétricos de baixa tensão:
Rebobinar ou trocar?

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética

Orientador: Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimoní

SÃO PAULO
2017

Sumário

1.	Introdução	6
1.1.	Motivação.....	6
1.2.	Objetivo	10
1.3.	Metodologia	10
1.4.	Estrutura	11
2.	Revisão Bibliográfica.....	12
2.1.	Processo Produtivo	12
2.1.1.	Fundição	12
2.1.2.	Usinagem.....	12
2.1.3.	Conformação plástica	12
2.1.4.	Estampagem	12
2.1.5.	Trefilação	13
2.2.	Tecnologias	13
2.3.	Mercado	16
2.4.	Eficiência Energética.....	18
2.5.	Manutenção	19
2.6	Payback.....	22
3.	Levantamento de informações.....	23
3.1.	Preço (de mercado) de rebobinamento e rejuvenescimento de motores de baixa tensão.	23
3.2.	Preço (de mercado) de compra de motores de baixa tensão IR2 e IR3	24
3.3.	Tabelas de rendimento da NBR17094 para IR1, IR2 e IR3.....	26
3.4.	Desconto concedido pelas distribuidoras (CPFL, AES, etc...)	28
4.	Análise de dados.....	31
4.1.	Premissas.....	31
4.2.	Análise geral	33
4.3.	Troca de motores antigos por IR2 ou IR3	36
4.4.	Plano de troca de motores	37
4.5.	Programa de Eficiência Energética	38
4.6.	Rebobinagem de motores elétricos x compra de motores novos	39
4.7.	Rebobinagem de motores elétricos x compra de motores novos utilizando o plano de troca	41
5.	Conclusão.....	43

6. Bibliografia	47
-----------------------	----

Índice de Figuras

Figura 1 - Consumo de Energia Elétrica na Indústria	6
Figura 2 - Custo de um motor elétrico em 10 anos	7
Figura 3 - Evolução tecnológica dos motores elétricos	8
Figura 4 - Idade do Parque Fábril	9
Figura 5 - Investimento em porcentagem para um motor novo x rebobinagem.....	9
Figura 6 - Tipos de tecnologia de motores elétricos.....	14
Figura 7 – Motor síncrono de relutância ABB.....	16
Figura 8 - Participações Setoriais no Consumo de Energia Elétrica no Brasil em 2015.....	16
Figura 9 - Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Industrial.....	17
Figura 10: Curva de desempenho de motor elétrico de 5CV – 04 polos	32
Figura 11: Payback para motores de 02 polos.....	33
Figura 12: Payback para motores de 04 polos	34
Figura 13: Payback para motores de 06 polos	34
Figura 14: Payback para motores de 02 polos	35
Figura 15: Payback para motores de 04 polos	35
Figura 16: Payback para motores de 06 polos	36
Figura 17: Payback considerando o plano de troca para motores com mais de 20 anos comparando com IR3.....	37
Figura 18: Payback considerando o plano de troca para motores IR1 comparando com IR3	38
Figura 19: Payback considerando o PEE para motores com mais de 20 anos comparando com IR3.....	39
Figura 20: Payback considerando o PEE para motores IR1 comparando com IR3	39
Figura 21: Payback considerando o custo de rebobinagem para motores com mais de 20 anos comparando com IR3	40
Figura 22: Payback considerando o custo de rebobinagem para motores IR1 comparando com IR3	40
Figura 23: Payback considerando o custo de rebobinagem para motores com mais de 20 anos comparando com IR3 e combinado com o plano de troca.....	41

Figura 24: Payback considerando o custo de rebobinagem para motores IR1 comparando com IR3 e combinado com o plano de troca.....	42
--	----

Índice de Tabelas

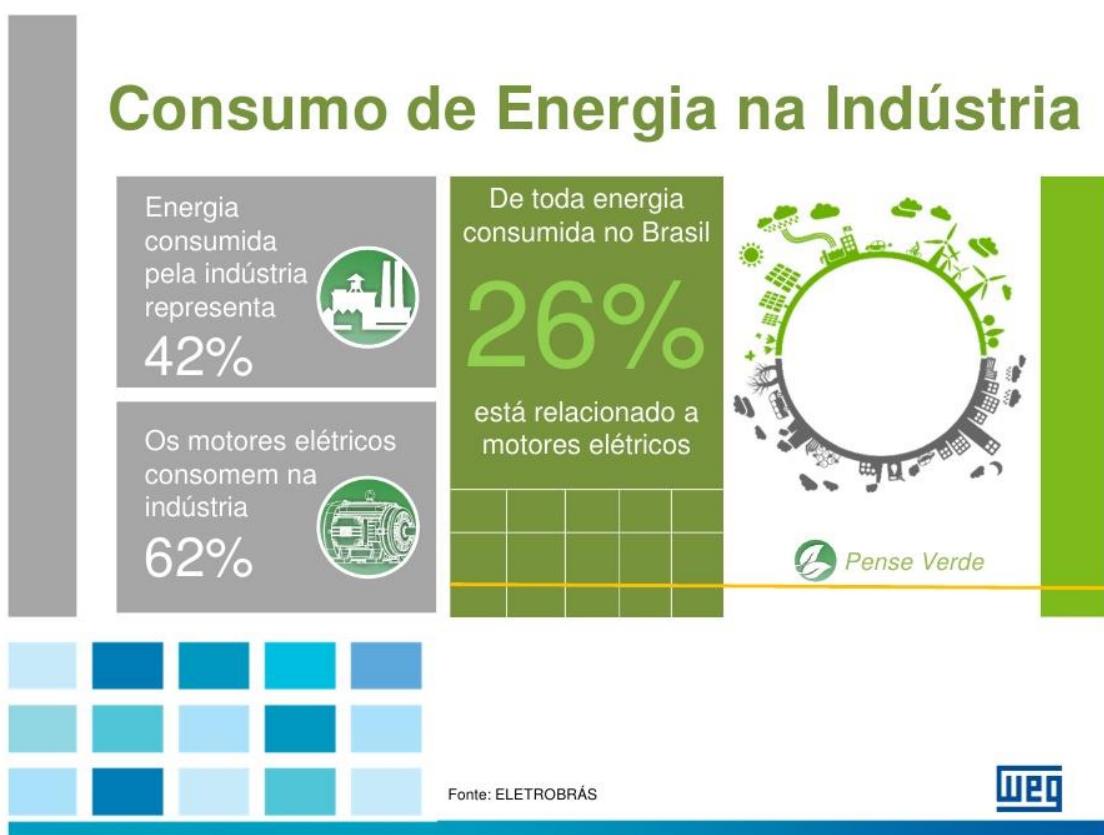
Tabela 1 - Participação de Sistemas Motrizes no Consumo de Energia Elétrica Brasileiro.....	17
Tabela 2 – Quantidade de motores vendidos anualmente por faixa de potência.....	18
Tabela 3 – Plano de Manutenção Preventiva	20
Tabela 4: Custo do Rebobinamento e Rejuvenescimento de motores elétricos por em reais (R\$) por potência	24
Tabela 5: Custo em reais (R\$) dos motores elétricos IR2 e IR3.	26
Tabela 6: Eficiência estimada para motores com mais de 20 anos e eficiência estabelecido pela norma para motores IR1, IR2 e IR3.....	28
Tabela 7: Incentivo monetário em reais por potência de motor e nível de rendimento.....	30
Tabela 8: Payback menor que 3 anos para PEE e Rebobinagem combinado com plano de troca ...	44
Tabela 9: Payback menor que 2 anos para PEE e Rebobinagem combinado com plano de troca ...	46

1. Introdução

1.1. Motivação

Motores elétricos representam 26% de todo o consumo elétrico no Brasil. E no setor industrial, onde tem a maior representatividade, ele representa 62% do consumo, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Consumo de Energia Elétrica na Indústria



Fonte: Eletrobrás

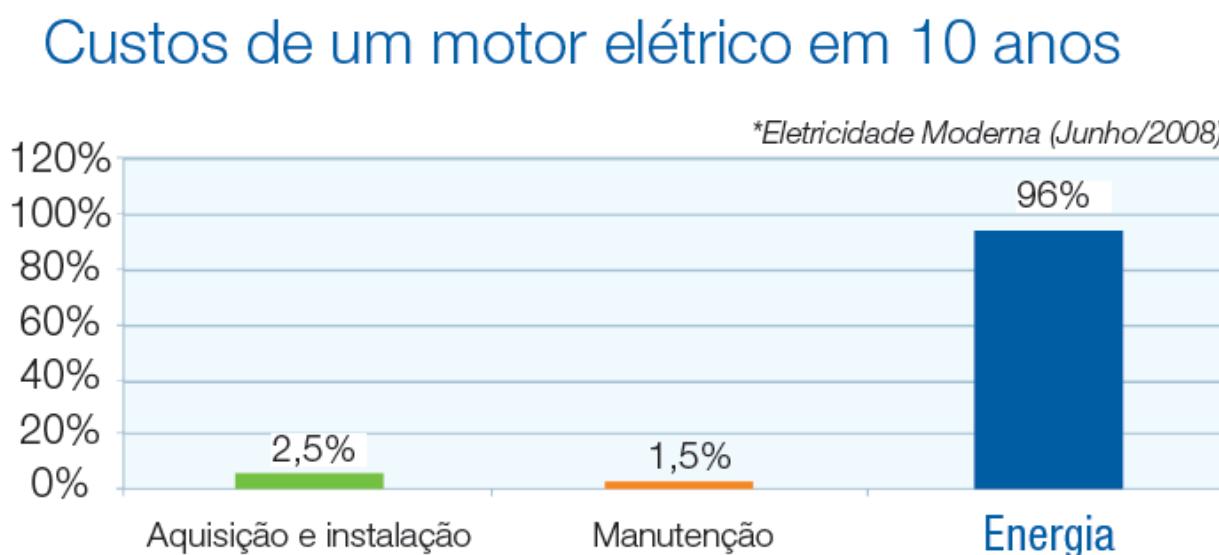
Com um equipamento responsável por um consumo tão grande de energia, se faz necessário aprofundar o conhecimento nesse equipamento e buscar soluções eficientes para se obter um aumento significativo na economia de energia.

Conforme dados da FIESC 2012 (Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina) a maior dificuldade para a identificação de oportunidades de eficiência energética de motores elétricos é a falta de profissionais capacitados com apontamento de 28%, seguido pela falta de financiamento com 23%. Esses dados foram levantados no estado de Santa Catarina, mas

podem ser considerados verdadeiros em âmbito nacional, uma vez que conhecimento ainda é limitado e o investimento para a compra de motores elétricos é considerado alto.

Analizando mais profundamente o tema investimento, é possível sim afirmar que motores elétricos são equipamentos caros; porém essa é uma análise parcialmente correta pois ela mostra apenas um cenário momentâneo e, quando observado de uma perspectiva de longo prazo esse investimento se torna praticamente insignificante, quando comparado com a energia que esse mesmo motor consome como é possível visualizar na Figura 2.

Figura 2 - Custo de um motor elétrico em 10 anos

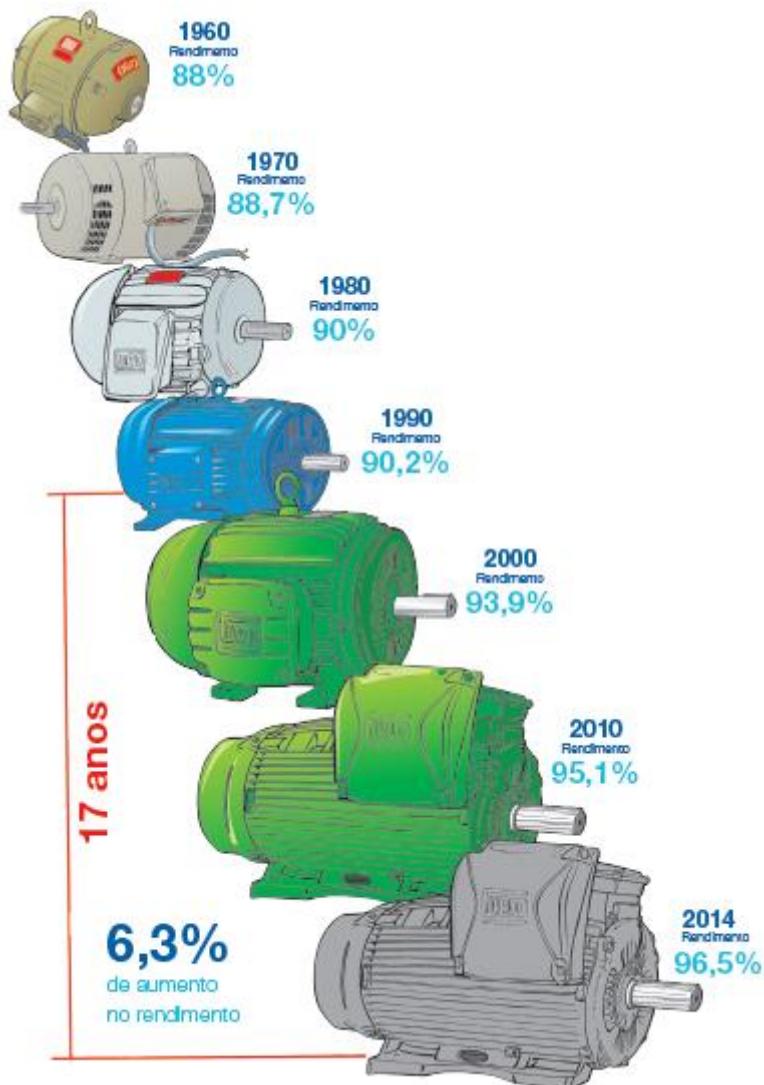


Fonte: Eletricidade Moderna, Junho 2008

Os dados da Figura 2 mostram claramente que o consumo energético dos motores elétricos é muito maior do que o custo de aquisição ou de instalação de um motor elétrico o que dá um grande embasamento e justificativa para projetos de eficiência energética.

Ao longo dos anos os motores elétricos desenvolvidos foram ficando cada vez mais eficientes, com aumentos significativos no seu rendimento quando comparado com motores antigos. A Figura 2 mostra a evolução do rendimento dos motores elétricos da WEG desde 1960 até 2014, com o lançamento da linha rendimento “premium”.

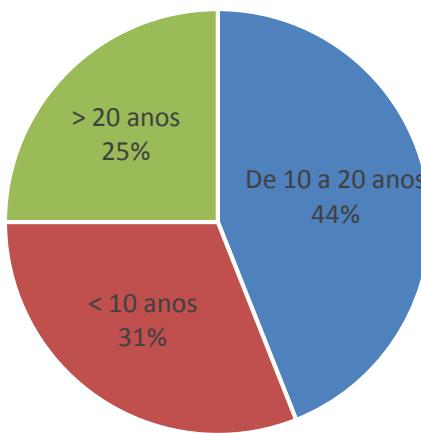
Figura 3 - Evolução tecnológica dos motores elétricos



Fonte: Cartilha WEG - Gestão eficiente da energia elétrica

Conforme estudo da ABRAMAN (Associação brasileira de manutenção e gestão de ativos), representado pela Figura 4, mais de 69% da idade média do parque fabril é maior que 10 anos, logo, é possível afirmar que existe um enorme potencial de economia de energia com a substituição de motores com um rendimento muito baixo por motores de alto rendimento e rendimento “premium”.

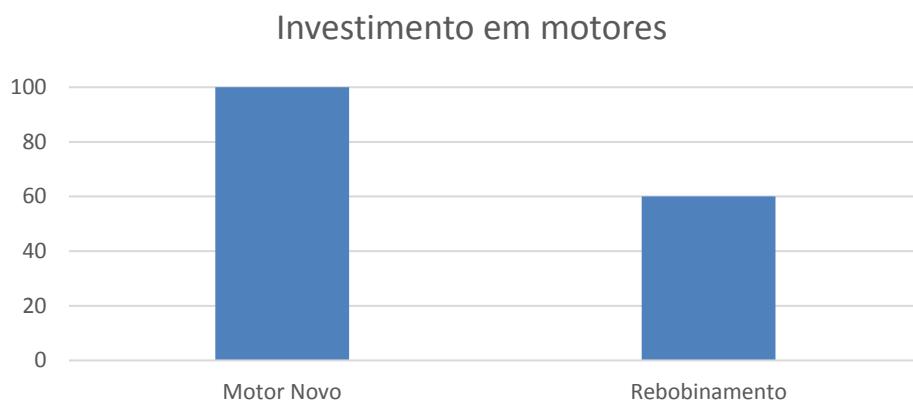
Figura 4 - Idade do Parque Fabril



Fonte: ABRAMAN

O conhecimento de mercado indica que o investimento para o rebobinamento de um motor antigo é de aproximadamente 60% do custo de um novo, como mostra a Figura 5; e que, além desse custo elevado o rendimento do motor rebobinado cai 1% para cada rebobinagem. Logo, ao optar por rebobinar um motor antigo, você não apenas faz um alto investimento como também aumenta o seu consumo de energia ao longo da nova vida útil.

Figura 5 - Investimento em porcentagem para um motor novo x rebobinagem



Fonte: Elaborado pelo autor

Apenas o conhecimento de informações gerais não pode ser considerado para um planejamento estratégico buscando eficiência energética. Para este fim, são necessárias informações com base em números reais e rendimentos estabelecidos por norma, a fim de que a tomada de decisão seja feita conscientemente e com embasamento teórico, evitando assim possíveis equívocos.

1.2.Objetivo

Tendo em vista o consumo de energia que motores elétricos representam no Brasil e na industria, o consumo durante a operação a longo prazo quando comparado com o investimento, a evolução da tecnologia e o aumento significativo no rendimento e a idade média do parque instalado no Brasil a monografia consiste em apresentar qual o melhor momento para se substituir os motores antigos por mais eficientes.

A renovação de um parque fabril não é algo fácil de se viabilizar, porém existem diversas maneiras, soluções e situações que permitem alcançar a melhor viabilidade possível para fazê-lo, esse trabalho busca informar e auxiliar as condições e oportunidades existentes no mercado para sempre manter um parque fabril renovado e eficiente.

Existem benefícios que não são mensuráveis ou são difíceis de serem mensurados como a diminuição do custo com manutenção ou o aumento do fator de potência da planta, esses benefícios devem ser levados em conta como “*upside*” do projeto porém não estarão sendo levados em conta nos calculos de economia, consumo e payback.

1.3.Metodologia

A principal finalidade desta monografia é a de apresentar valores reais para os motores elétricos de alto rendimento e rendimento “premium”, com base em números existentes, aplicados e conhecidos no mercado. Para isso, é necessário a utilização de pesquisas quantitativas com base em valores.

Para se obter o preço dos motores elétricos de alto rendimento e rendimento “premium”, foi realizado uma média, com base em informações de listas de preços e multiplicadores padrão disponíveis no mercado. Os preços apresentados podem ser aqueles obtidos pelos fabricantes e fornecedores de motores elétricos com base em solicitações de cotação e consultas de preços.

Dados de rendimento utilizados no estudo são normatizados e foram obtidos através de pesquisas em leis, portarias, normas e documentos disponibilizados e regulados para o mercado. A Lei nº10.295, portaria nº553, norma ABNT NBR 17094-1 e outras foram utilizados para a formatação e cálculo de economia de motores elétricos.

Será feito uma pesquisa no site dos fornecedores de motores elétricos no Brasil para identificar possíveis incentivos e planos de troca que buscam a renovação do parque fabril e o incentivo à eficiência, assim como os descontos os benefícios atrelados.

Será feito uma levantamento e avaliação de possíveis programas de eficiência energética regulamentados e incentivados pelo governo para troca de equipamentos com baixa eficiência por equipamentos de alta eficiência.

Com base no resultado das pesquisas e programas será feito uma análise minuciosa buscando apontar as melhores práticas de mercados e os seus reais benefícios.

1.4.Estrutura

O trabalho abordará inicialmente o processo produtivo básico de um motor elétrico de baixa tensão. Com base nas informações de processo e um conhecimento básico dos motores será possível avaliar as tecnologias atuais, e as mais novas.

Um importante ponto de conhecimento que será abordado brevemente será o mercado de motores, buscando mostrar os segmentos com maior relevância e as faixas de potência de maior consumo. As normas de eficiência que são importantíssimas pois são as bases do trabalho para os futuros cálculos de eficiência energética e “payback” também serão abordados.

A redução do custo de manutenção de motores elétricos não será considerado nos cálculos a serem feitos nesse trabalho, mesmo assim, é importante o conhecimento da complexidade e importância da manutenção dos motores elétricos e os graus de complexidade ao longo de sua vida útil.

O levantamento de informações é parte fundamental e a mais importante deste projeto, serão necessárias informações como custo de reboinagem, custo de compra de motores IR2 e IR3, níveis de eficiência estabelecidos por norma e programas de incentivados pelo governo. Com base nesses dados serão feitas diversas análises e comparações que serão apresentadas gráficamente buscando facilitar e simplificar o entendimento das práticas e condições encontradas.

O objetivo final, de apontar as melhores condições para compra ou troca de motores elétricos estará na etapa de conclusão, assim como, o impacto que possíveis alterações nas premissas podem acarretar nos resultados obtidos.

2. Revisão Bibliográfica

2.1.Processo Produtivo

2.1.1. Fundição

Existem dois tipos de carcaça em motores de BT (Baixa Tensão), os motores de alumínio e de ferro fundido. O processo de fundição é utilizado para a fabricação de ambas as opções e consiste no derretimento do material do qual a carcaça será feita e despejo em molde de aço ou areia.

A aplicação desse processo se dá principalmente pelo fator econômico pois é possível obter peças geométricas complexas, com curvas e nervuras que seria difícil de se obter por outros processos produtivos. Ao final, existe um processo de limpeza com granulha de aço ou jatos de areia para remoção de canais ou possíveis rebarbas.

2.1.2. Usinagem

Etapa do processo utilizada para se obter precisão dimensional e um melhor acabamento final por meio da remoção de materiais através de ferramentas específicas. As ferramentas de corte tanto manuais (limas, serras, serrotes) como as máquinas operatrizes (fresas e tornos), são utilizadas para se obter o nível de precisão de milésimos de milímitros. Em um motor elétrico, esse processo é aplicado na base ou nos pés dos motores para se obter dimensões e distância entre furos necessários para atender as Normas de Padronização Brasileira.

2.1.3. Conformação plástica

Etapa do processo que consiste na aplicação de tensões externas, sempre inferiores ao limite de resistência de ruptura do material, para a modificação da sua forma geométrica. Este processo pode ser realizado a frio ou a quente e sem remoção de materiais.

Os principais equipamentos para realizar a conformação plástica são fôrmas, matrizes ou gabaritos; no caso de operações de dobra, é possível que essa conformação seja realizada manualmente sem nenhum equipamento específico.

2.1.4. Estampagem

A estampagem é o processo no qual chapas finas de aço são cortadas por meio de uma prensa para a fabricação das partes ativas dos motores elétricos. As partes ativas composta por rotor e estator são consideradas o coração do motor e a precisão nesse processo é imprescindível para reduzir as perdas nos núcleos.

O custo dessa etapa é um dos mais elevados; logo a otimização do processo com a estampagem de estator e rotor ao mesmo tempo, e o ganho de volume com uma padronização das dimensões por linha de produto, são medidas necessárias para a viabilizar a redução de custos, que hoje são uma exigência do mercado.

2.1.5. Trefilação

É o processo para a fabricação dos fios de cobre que serão utilizados no estator, uma força de tração é aplicada a diversas trefilas (fileiras) que possuem seções diferentes, sempre menor que a anterior, resultando na redução da bitola do fio e consequentemente o aumento de seu comprimento.

Os fios de cobre são extremamente importantes pois eles, após isolados para a tensão correta do motor e bobinados no estator, são a principal parte do motor. Um bobinado de qualidade, com boa isolação, é o que garante uma vida útil de 20 anos para os motores elétricos.

2.2.Tecnologias

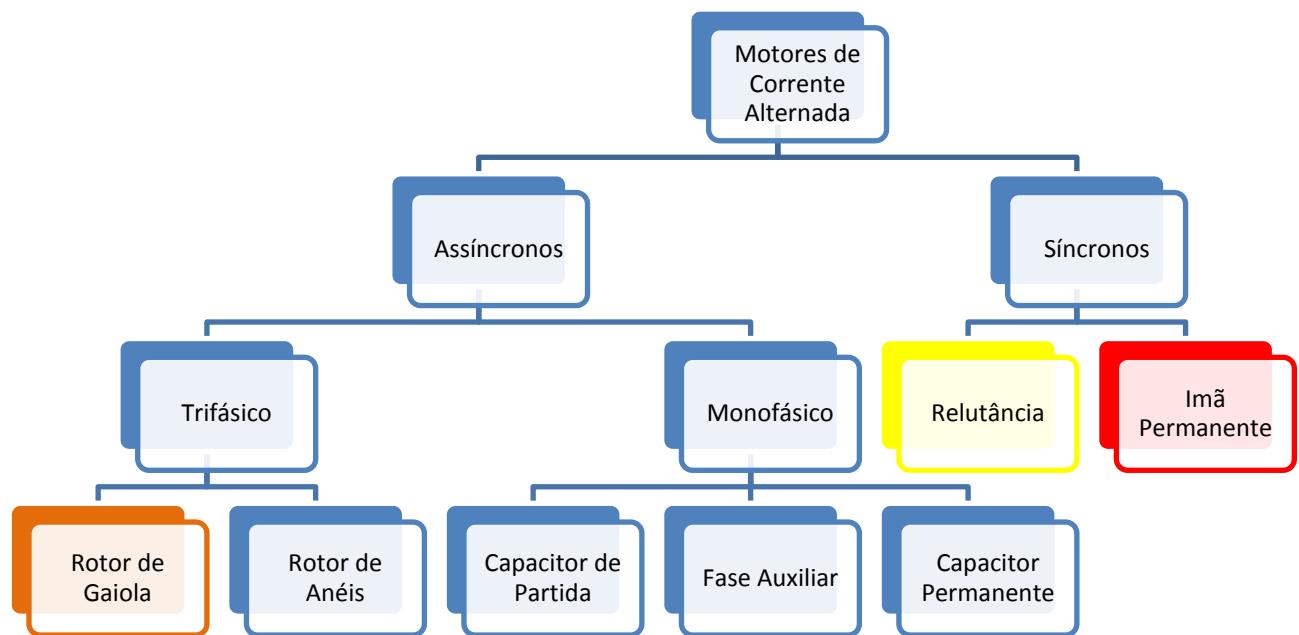
A tecnologia empregada em motores elétricos evoluiu bastante nas últimas décadas, até o ponto em que a grande maioria dos motores utilizados fossem os chamados “Motores de Indução Trifásico de Gaiola”.

Por causa de suas inúmeras vantagens, o motor de indução trifásico com rotor de gaiola é o mais utilizado no mundo inteiro. Ele atende a grande maioria das cargas, apresentando desempenho seguro, econômico e simples. No Brasil, ele representa 75% da população dos motores elétricos em operação, sendo responsável por 50% do consumo de energia elétrica no setor industrial. (Guia Operacional de motores elétricos, 2000, p.24)

Os motores elétricos de rotor de gaiola podem ser melhores definidos como: “O motor assíncrono, mais conhecido por motor de indução, foi concebido no final do século 19. Embora se projeto tenha apresentado uma grande evolução, a sua configuração básica persiste até hoje, de forma simples e adequada: um enrolamento que é ligado a rede de alimentação (normalmente situado no estator) e um segundo enrolamento (normalmente alojado no rotor) que apresenta grandezas elétricas provenientes das induções provocadas pelo primeiro enrolamento.” (Guia Operacional de motores elétricos, 2000, p.26).

Os motores com rotor gaiola são os mais comuns, porém é necessário ressaltar que existem diversos tipos de tecnologias diferentes e cada uma dessas tecnologias possui uma aplicação específica. A figura 3 mostra os tipos mais comuns de motores elétricos.

Figura 6 - Tipos de tecnologia de motores elétricos



Fonte: Elaborado pelo autor

De todos os tipos de motores informados na figura 3 é possível salientar a importância de três deles.

- a) Os motores de imã permanente são pouco comuns no mercado porém podem ser aplicados em quase todas as soluções, e quando utilizados em equipamentos que possuem uma baixa rotação podem substituir soluções de rotor gaiola acoplado a um redutor de velocidade com uma eficiência muito maior. Motores de imã permanente podem atingir níveis de eficiência IE4, conforme EU MEPS (Norma Europeia de Desempenho Mínimo de Energia), mas possuem uma grande desvantagem quando analisados do ponto de vista de manutenção. A manutenção do motor de imã permanente é extremamente complicada devido ao fato de possuir imãs magnetizados. Isso faz com que qualquer reparo ou manutenção seja apenas possível

em assistências técnicas especializadas com equipamentos próprios para esse tipo de motor, o que aumenta significativamente o custo de manutenção.

- b) Os motores de rotor de gaiola, que serão o principal foco desse trabalho, e representam a grande maioria dos motores instalados mundialmente. Dentre os níveis de eficiência mais comuns nesse tipo de tecnologia estão os motores IR1, conhecidos como motores de rendimento padrão, os motores IR2 conhecidos como motores de alta eficiência e os motores IR3 conhecidos como rendimento “*premium*”.
- c) Os motores de relutância são um dos tipos de motores mais antigos já construídos. Porém o desenvolvimento dessa tecnologia só chegou a um patamar de utilização na indústria recentemente conforme é possível visualizar na figura 4. Esse motor apresenta um rotor que não possui cobre ou alumínio e por esse motivo praticamente não apresenta perdas no rotor. Entretanto, por não possuirem uma gaiola, necessitam de um inversor de frequência para dar a partida. Essa é uma solução que tem ganhado espaço no mercado por ser muito eficiente atingindo níveis de eficiência superiores a IE4; e, por sua manutenção ser extremamente simples, o seu estator tem uma composição igual ao motor convencional “indução de gaiola”. No entanto, o seu rotor é mais simples o que minimiza ao máximo os problemas.

Figura 7 – Motor síncrono de relutância ABB.

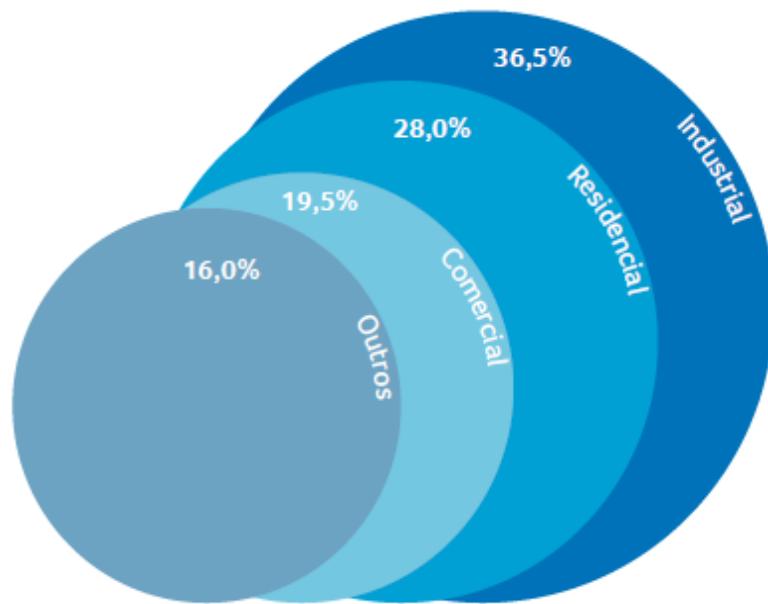


Fonte: ABB Fact File SyncRM Concept

2.3.Mercado

Dos diversos setores da economia é possível afirmar que o setor industrial apresenta, conforme figura 4, o maior consumo de energia elétrica do Brasil.

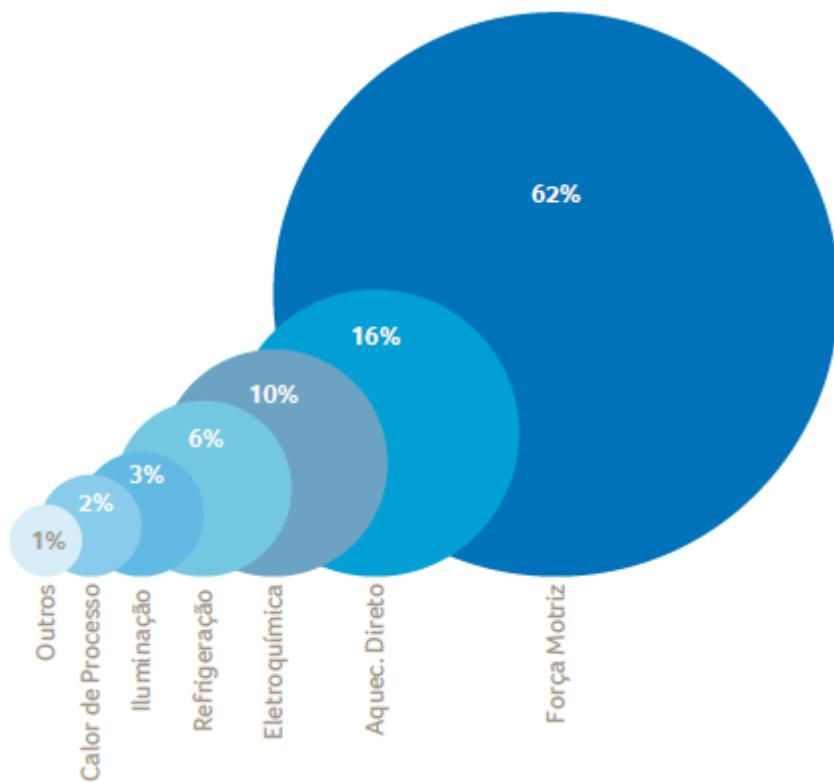
Figura 8 - Participações Setoriais no Consumo de Energia Elétrica no Brasil em 2015



Fonte: EPE, 2016

Analisando minuciosamente o setor industrial e a diversificação do consumo de energia os motores elétricos compõem uma parte significativa e de sua matriz energética, excluindo refrigeração e ar condicionado, conforme mostra a figura 5.

Figura 9 - Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Industrial



Fonte: BEU/MME, 2005

Analisando apenas o setor industrial é possível afirmar que o consumo de energia dos motores elétricos é superior a 22,5% do consumo no Brasil. E analisando todos os setores (Industrial, comercial, residêncial, público, transporte, agropecuário, energético), esse número é ainda mais significativo, representando 58% do consumo energético, conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 - Participação de Sistemas Motrizes no Consumo de Energia Elétrica Brasileiro

Industrial	Comercial	Residencial	Público	Transporte	Agropecuário	Energético	Brasil
68%	48%	35%	46%	100%	95%	93%	58%

(*) Incluindo refrigeração e ar condicionado

Fonte: BEU, 2005

Independente do setor o foco principal de desenvolvimento de projetos de eficiência energética na indústria é voltado especificamente para motores maiores, principalmente pelo fato de ser mais viável economicamente investir tempo e esforços em uma quantidade pequena

de equipamentos. Porém, nesse caso, o consumo expressivo. A tabela 2 abaixo mostra, entre os anos de 1989 a 2000, as quantidades de motores vendidos anualmente por potência. A partir desses dados, é possível afirmar que, mesmo não possuindo uma potência relevante individualmente, o número de motores pequenos no mercado é significativo e um programa de troca de motores pequenos, que normalmente possuem características de aplicação e de intercambiabilidade mais simples, é viável e não deve ser descartada.

Tabela 2 – Quantidade de motores vendidos anualmente por faixa de potência.

MOTORES TRIFÁSICOS	Até 1 cv	Acima de 1 cv até 10 cv	Acima de 10 cv até 40 cv	Acima de 40 cv até 100 cv	Acima de 100 cv até 300 cv	Acima de 300 cv	Total
1989	320.501	587.707	84.710	13.907	4.732	322	1.011.879
1990	274.952	495.607	61.228	11.401	3.862	233	847.283
1991	256.421	465.252	54.891	8.713	3.200	187	788.664
1992	227.869	421.557	58.401	10.585	3.591	183	722.186
1993	235.828	446.430	59.077	11.340	3.700	272	756.647
1994	328.353	537.670	77.947	14.544	4.951	360	963.825
1995	443.169	716.855	98.614	19.390	7.395	548	1.285.971
1996	356.815	600.791	88.195	17.798	6.778	686	1.071.063
1997	396.482	711.519	113.125	23.024	9.695	892	1.254.737
1998	335.721	704.677	132.524	25.621	10.981	1.236	1.210.760
1999	354.510	676.130	115.207	22.203	9.224	945	1.178.219
2000	449.907	770.264	132.125	26.461	10.360	917	1.390.034
Total	3.980.528	7.134.459	1.076.044	204.987	78.469	6.781	12.481.268
	32%	57%	9%	2%	1%	0,1%	100%

Fonte: ABINEE, 2003

2.4.Eficiência Energética

No Brasil o processo de normatização de motores com níveis mínimos de eficiência foi tardio, se comparado com outros países como os Estados Unidos e outros países da Europa, que já possuíam normas como a IEC 60034 e NEMA MG-1. Isso gerou, para o Brasil, um parque industrial com um nível de eficiência baixo.

Em 1996 a Norma NBR 7094 divulgou valores mínimos de rendimento nominal para motores trifásicos da linha padrão, e em outubro de 2000 divulgou os menores valores de rendimento nominal à plena carga para motores trifásicos da linha alto rendimento (WEG em Revista)

Conforme a Figura 2, o custo com consumo de energia ao longo do ciclo de vida de motores elétricos é muito mais significativo do que o investimento para a compra, se considerarmos uma vida útil de 20 anos. Conforme declarado pelo fabricante, esse valor pode ser ainda maior. Desde o lançamento da NBR 7094 que previa o rendimento mínimo como o da “linha padrão”, já foram incluídos dois novos níveis de rendimento: os motores de “alto rendimento” e “rendimento premium”, também conhecidos como “IR2” e “IR3” respectivamente.

Conforme a portaria INMETRO nº 243/2009 os motores declarados como “linha padrão” foram permitidos no brasil de 1996 até 2010. A partir de 12 de junho de 2010, a norma exigiu que todos os motores fabricados ou importados para o Brasil atendessem a “linha de alto rendimento”. Atualmente ainda não há uma definição sobre quando a “linha rendimento premium” será o novo patamar mínimo de eficiência no Brasil; porém já é possível afirmar que as indústrias e empresas Brasileiras atingiram um alto nível de maturidade consideram a relação custo benefício do ciclo de vida total dos motores e não apenas o custo de investimento. Esse tipo de análise tem impulsionado e acelerado o desenvolvimento e a atualização do parque fabril para motores IR3.

2.5.Manutenção

A manutenção preventiva de motores elétricos trifásicos de baixa tensão, conforme manual dos fabricantes e recomendações técnicas, requer inspeções anuais. Tomando-se por base uma empresa multinacional que atua no Brasil, o programa de manutenção utilizado na ABB (“Asea Brown Boveri”) é dividido em quatro etapas conhecidas como “L1”, “L2”, “L3” e “L4”, sendo que cada delas uma exige um nível diferente de inspeção, criticidade e periodicidade, conforme é possível visualizar na tabela 3.

Tabela 3 – Plano de Manutenção Preventiva

Programa de Manutenção	L1	L2	L3	L4
Intervalos	Definidos no manual para cada tipo de motor elétrico ou gerador			
	0.5-1 anos	1-2 anos	3-5 anos	8-12 anos
Tempo esperado de parada	4-8 horas	8-16 horas	5 dias	10 dias
Equipe necessária	1 Inspetor de Campo	1 Inspetor de Campo	2 Inspetores de Campo + 1 Mecânico	2 Inspetores de Campo + 2 Mecânicos

Fonte: Plano de Manutenção Preventiva ABB

O escopo de trabalho de cada um dos níveis de intervenção conforme indicação do Fabricante, é o seguinte:

L1:

- Inspeção Visual
- Avaliação de parâmetros operacionais
- Reposição de consumíveis (filtros, óleo e escovas)

L2:

- L1
- Medição e avaliação da resistência de isolamento do estator

L3:

- L2
- Inspeção dos rolamentos

- Limpesa do sistema de refrigeração
- Inspeção do rotor

L4:

- L3
- Remoção do Rotor
- Inspeção e testes no estator
- Diagnóstico de medições de operação e de testes

Independente da recomendação de manutenção preventiva dos fabricantes, cada indústria que possui um grande número de motores elétricos instalados já tem um conhecimento considerável do modelo de manutenção que mais atende a sua necessidade, normalmente priorizando os motores de maior importância para os de menor importância, dependendo da aplicação e do impacto que uma eventual parada significa no seu processo produtivo.

Um ponto muito discutido no mercado é o rendimento de motores após a rebobinagem do estator. O comum no mercado é se considerar uma perda de 1% de eficiência para cada rebobinagem do motor. Porém devido ao fato de existir diversas empresas pulverizadas pelo Brasil que realizam esse tipo de serviço sem qualidade e processos de controle desejáveis, especialistas do mercado chegam a estimar números de perda de eficiência ainda maiores, conforme relatado na reportagem de Paulo Martins publicado na Revista Potência, em entrevista com Fernando Garcia, executivo da WEG: “Para manter sua eficiência, o motor não deve ter sido reparado, pois este sofre deterioração a cada vez que é rebobinado.” (Paulo Martins), “Estima-se que a perda de rendimento é de três a quatro pontos percentuais a cada queima” (Fernando Garcia).

A divergência de uma estimativa real de perda de eficiência após rebobinagem pode significar a viabilidade ou não de um projeto de eficiência, principalmente pelo fato de que visando apenas a redução de custos diversas empresas não optam pela compra de um equipamento novo. E no caso da compra, o nível de rendimento é o IR2, o que faz com que o parque de motores instalados no Brasil não seja apenas antigo como também com várias rebobinagens no mesmo equipamento.

2.6 Payback

O calculo de payback para motores elétricos é um diferente pois deve conter horas de operação, carga que está acionando, eficiência e custo do R\$/kW. A metodologia de cálculo será conforme fórmula abaixo.

$$Payback = \frac{PMnovo}{(RMnovo - RMold) * H * Carga * E}$$

PMnovo: Preço do Motor novo [R\$]

RMnovo: Rendimento do Motor novo [%]

RMold: Rendimento do Motor antigo [%]

H: Número de horas de operação por ano [Horas]

Carga: Carga do motor [%]

E: Custo do Real por kW [R\$/kW]

3. Levantamento de informações

3.1.Preço (de mercado) de rebobinamento e rejuvenescimento de motores de baixa tensão.

Existem inúmeras empresas de rebobinamento e rejuvenescimento de motores espalhados pelo Brasil. Porém, são poucas as que têm estruturas e equipamentos para fazer um serviço de qualidade em motores acima de 100 CV. Dentre as pequenas empresas que reparam motores pequenos, há um grande impasse sobre o a qualidade desse serviço. O principal ponto é reconhecer se a empresa é uma assistencia técnica autorizada com o conhecimento das características de enrolamento e informações técnicas de fabricação do motor que está sendo reparado. Caso as características de fabricação não estejam sendo seguidas, existe uma grande possibilidade do motor rebobinado não apresentar as mesmas características técnicas que o motor original, além de não dispor da mesma eficiência que um processo feito em escala e quase totalmente automatizado consegue demonstrar.

A tabela 4 abaixo mostra o custo de rebobinamento e rejuvenescimento médio utilizado no mercado.

Tabela 4: Custo do Rebobinamento e Rejuvenescimento de motores elétricos por em reais (R\$) por potência

Potência Nominal	REBOBINAMENTO			REJUVENESCIMENTO			
	Velocidade Síncrona [rpm]			Velocidade Síncrona [rpm]			
kW	CV	3600	1800	1200	3600	1800	1200
0,12	0,16	267	261	291	135	132	147
0,18	0,25	270	265	307	138	136	157
0,25	0,33	275	275	316	141	141	162
0,37	0,5	285	294	353	144	149	179
0,55	0,75	297	328	400	150	166	203
0,75	1	308	327	304	159	169	157
1,1	1,5	361	362	438	185	185	224
1,5	2	406	425	556	206	215	281
2,2	3	469	495	609	240	253	311
3	4	507	603	851	257	305	430
3,7	5	628	639	956	321	327	488
4,4	6	725	814	1045	374	420	539
5,5	7,5	762	877	1154	389	448	589
7,5	10	992	1040	1322	502	526	668
9,2	12,5	1084	1153	1721	554	589	879
11	15	1231	1241	1917	622	627	969
15	20	1731	1694	2224	893	874	1147
18,5	25	1979	2017	3292	1010	1030	1680
22	30	2040	2700	3705	1031	1364	1872
30	40	3525	3522	4970	1799	1797	2536
37	50	3692	3872	6182	1904	1996	3187
45	60	5779	5563	7101	2949	2839	3623
55	75	6487	6123	7250	3277	3093	3662
75	100	7458	7065	10125	3767	3569	5114
90	125	10571	10189	11395	5394	5199	5814
110	150	11694	11016	12963	6028	5679	6682
132	175	13968	13372	15913	7127	6823	8119
150	200	15052	13961	16224	7759	7197	8363
185	250	18202	15530	21953	9287	7924	11201
220	300	21419	19949	24579	10929	10179	12541
260	350	25237	21448	25531	13009	11056	13161
300	400		22907	26407		11454	13204
330	450		24704	27119		12352	13560
370	500		27580	28954		13790	14477

Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.Preço (de mercado) de compra de motores de baixa tensão IR2 e IR3

Os motores elétricos de alto rendimento (IR2) possuem a eficiência mínima permitida pela NBR (entre 1CV e 250CV) e representam a grande maioria dos motores vendidos nas

distribuidores e revendas espalhadas por todo o território nacional. A linha conhecida como eficiência “premium” representa os motores que possuem eficiência IR3. Conforme norma NBR, esses motores possuem um rendimento superior aos mínimos exigidos e já estão sendo considerados como obrigatórios em muitas especificações técnicas em que o cliente tem um foco em eficiência energética e consideram o custo global, também conhecido como “*cost of ownership*”. Existem fabricantes que produzem esses motores elétricos no Brasil e outros que importam e mantém esse equipamento em estoque para vendas pronta entrega, entre os grandes “players” que atuam nesse mercado estão a Siemens, ABB, WEG, Voges e GE. A tabela 5 representa o preço médio de venda desses equipamentos.

Tabela 5: Custo em reais (R\$) dos motores elétricos IR2 e IR3.

Potência Nominal	Motores IR2			Motores IR3			
	Velocidade Síncrona [rpm]			Velocidade Síncrona [rpm]			
kW	CV	3.600,00	1.800,00	1.200,00	3.600,00	1.800,00	1.200,00
0,12	0,16						
0,18	0,25	353,00	345,00	423,00	416,00	411,00	492,00
0,25	0,33	356,00	355,00	481,00	424,00	418,00	573,00
0,37	0,5	363,00	391,00	499,00	428,00	466,00	588,00
0,55	0,75	397,00	439,00	568,00	457,00	511,00	669,00
0,75	1	475,00	565,00	775,00	559,00	673,00	923,00
1,1	1,5	627,00	629,00	805,00	756,00	749,00	948,00
1,5	2	684,00	762,00	1.009,00	787,00	897,00	1.174,00
2,2	3	831,00	876,00	1.101,00	990,00	1.031,00	1.311,00
3	4	919,00	1.109,00	1.669,00	1.082,00	1.321,00	1.964,00
3,7	5	1.144,00	1.171,00	1.956,00	1.300,00	1.362,00	2.249,00
4,4	6	1.440,00	1.611,00	2.166,00	1.695,00	1.918,00	2.610,00
5,5	7,5	1.488,00	1.705,00	2.347,00	1.793,00	2.030,00	2.762,00
7,5	10	1.978,00	2.050,00	2.657,00	2.328,00	2.470,00	3.164,00
9,2	12,5	2.227,00	2.301,00	3.615,00	2.590,00	2.708,00	4.253,00
11	15	2.449,00	2.451,00	3.956,00	2.815,00	2.850,00	4.710,00
15	20	3.564,00	3.466,00	4.613,00	4.050,00	4.078,00	5.364,00
18,5	25	3.968,00	4.014,00	6.878,00	4.669,00	4.668,00	8.189,00
22	30	4.296,00	5.711,00	6.878,00	5.115,00	6.641,00	7.998,00
30	40	7.638,00	7.632,00	7.954,00	8.882,00	8.979,00	9.358,00
37	50	8.060,00	8.443,00	10.701,00	9.711,00	10.052,00	12.740,00
45	60	12.325,00	11.865,00	13.296,00	14.500,00	14.296,00	15.643,00
55	75	14.054,00	13.168,00	15.667,00	16.731,00	15.492,00	18.432,00
75	100	16.317,00	15.457,00	16.131,00	19.899,00	18.402,00	19.204,00
90	125	23.756,00	22.899,00	22.949,00	28.281,00	26.940,00	27.321,00
110	150	26.499,00	24.963,00	25.609,00	31.176,00	29.718,00	29.778,00
132	175	31.701,00	30.348,00	29.910,00	36.862,00	35.704,00	35.189,00
150	200	34.443,00	31.946,00	36.115,00	41.004,00	37.584,00	42.489,00
185	250	49.016,00	37.718,00	37.125,00	59.056,00	44.903,00	44.729,00
220	300		58.999,00			69.411,00	
260	350		64.267,00			76.509,00	
300	400		67.458,00			80.308,00	
330	450						
370	500						

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.Tabelas de rendimento da NBR17094 para IR1, IR2 e IR3

O rendimento elétrico mínimo dos motores elétricos vem aumentando e desde a primeira revisão da NBR 17094, que informava o rendimento mínimo de motores elétricos

“Standard” (padrão), já houve revisões definindo um novo rendimento mínimo IR2 que são os motores conhecidos como de Alto Rendimento e já indicando um novo patamar mínimo em um curto prazo de tempo com a contemplação dos motores de Rendimento “Premium” (IR3). A norma NBR 17094 rege todos os motores elétricos de baixa tensão entre 1 CV e 250CV. Logo, motores de 0,16 à 0,75CV não são regulados e cada fabricante pode ofertar o seu rendimento padrão, sendo as informações contidas na norma de caráter apenas orientativo. A tabela 6 mostra a eficiência estimada para motores fabricados há mais de 20 anos, motores com rendimento padrão, motores de alto rendimento e motores de rendimento “premium”.

Tabela 6: Eficiência estimada para motores com mais de 20 anos e eficiência estabelecido pela norma para motores IR1, IR2 e IR3.

Potência Nominal	> 20 anos			TABELA IR1			TABELA IR2			TABELA IR3			
	Velocidade Síncrona [rpm]			Velocidade Síncrona [rpm]			Velocidade Síncrona [rpm]			Velocidade Síncrona [rpm]			
kW	CV	3600	1800	1200	3600	1800	1200	3600	1800	1200	3600	1800	1200
0,12	0,16	58,1%	53,6%	46,3%				59,5%	64,0%	50,5%	62,0%	66,0%	64,0%
0,18	0,25	61,9%	58,0%	54,0%				64,0%	68,0%	55,0%	65,6%	69,5%	67,5%
0,25	0,33	62,9%	61,9%	58,1%				68,0%	70,0%	59,5%	69,6%	73,4%	69,0%
0,37	0,5	68,4%	66,0%	62,3%				72,0%	72,0%	64,0%	73,4%	78,2%	75,3%
0,55	0,75	71,0%	69,0%	65,6%				74,0%	75,5%	68,0%	76,8%	79,0%	79,5%
0,75	1	72,7%	70,6%	72,5%	77,0%	78,0%	73,0%	80,0%	80,5%	80,0%	80,5%	83,5%	82,5%
1,1	1,5	75,7%	72,7%	73,2%	78,5%	79,0%	75,0%	82,5%	81,5%	77,0%	84,0%	86,5%	87,5%
1,5	2	76,1%	77,6%	73,5%	81,0%	81,5%	77,0%	83,5%	84,0%	83,0%	85,5%	86,5%	88,5%
2,2	3	79,4%	79,3%	76,6%	81,5%	83,0%	78,5%	85,0%	85,0%	83,0%	86,5%	89,5%	89,5%
3	4	83,2%	80,7%	79,4%	82,5%	83,0%	81,0%	85,0%	86,0%	85,0%	88,5%	89,5%	89,5%
3,7	5	83,2%	83,5%	82,5%	84,5%	85,0%	83,5%	87,5%	87,5%	87,5%	88,5%	89,5%	89,5%
4,4	6	84,3%	84,2%	84,0%	85,0%	85,5%	84,0%	88,0%	88,5%	87,5%	88,5%	89,5%	89,5%
5,5	7,5	85,2%	86,2%	84,4%	86,0%	87,0%	85,0%	88,5%	89,5%	88,0%	89,5%	91,7%	91,0%
7,5	10	85,8%	85,2%	85,8%	87,5%	87,5%	86,0%	89,5%	89,5%	88,5%	90,2%	91,7%	91,0%
9,2	12,5	87,5%	87,7%	87,3%	87,5%	87,5%	87,5%	89,5%	90,0%	88,5%	91,0%	92,4%	91,7%
11	15	87,5%	88,3%	88,3%	87,5%	88,5%	89,0%	90,2%	91,0%	90,2%	91,0%	92,4%	91,7%
15	20	89,3%	89,8%	89,0%	88,5%	89,5%	89,5%	90,2%	91,0%	90,2%	91,0%	93,0%	91,7%
18,5	25	90,4%	90,1%	89,4%	89,5%	90,5%	90,2%	91,0%	92,4%	91,7%	91,7%	93,6%	93,0%
22	30	90,9%	91,0%	90,2%	89,5%	91,0%	91,0%	91,0%	92,4%	91,7%	91,7%	93,6%	93,0%
30	40	91,0%	90,9%	90,6%	90,2%	91,7%	91,7%	91,7%	93,0%	93,0%	92,4%	94,1%	94,1%
37	50	92,2%	92,3%	91,2%	91,5%	92,4%	91,7%	92,4%	93,0%	93,0%	93,0%	94,5%	94,1%
45	60	91,0%	91,6%	91,7%	91,7%	93,0%	91,7%	93,0%	93,6%	93,6%	93,6%	95,0%	94,5%
55	75	92,5%	91,9%	92,1%	92,4%	93,0%	92,1%	93,0%	94,1%	93,6%	93,6%	95,4%	94,5%
75	100	93,1%	92,5%	92,7%	93,0%	93,2%	93,0%	93,6%	94,5%	94,1%	94,1%	95,4%	95,0%
90	125	91,4%	91,8%	92,2%	93,0%	93,2%	93,0%	94,5%	94,5%	94,1%	95,0%	95,4%	95,0%
110	150	92,7%	92,0%	92,5%	93,0%	93,5%	94,1%	94,5%	95,0%	95,0%	95,0%	95,8%	95,8%
132	175	92,9%	92,7%	93,7%	93,5%	94,1%	94,1%	94,7%	95,0%	95,0%	95,4%	96,2%	95,8%
150	200	93,3%	93,4%	93,1%	94,1%	94,5%	94,1%	95,0%	95,0%	95,0%	95,4%	96,2%	95,8%
185	250	92,5%	93,5%	94,0%	94,1%	94,5%	94,1%	95,4%	95,0%	95,0%	95,8%	96,2%	95,8%
220	300	93,8%	94,0%	94,5%	94,1%	95,0%	94,5%	94,5%	95,5%	95,0%	95,8%	96,2%	95,8%
260	350	94,0%	94,1%	94,9%	94,1%	95,0%	94,5%	95,5%	95,5%	95,4%	95,8%	96,2%	95,8%
300	400		94,3%	94,7%		95,0%	94,7%		95,5%	95,4%	95,8%	96,2%	95,8%
330	450			95,0%		95,4%	95,0%		95,8%	95,4%	95,8%	96,2%	95,8%
370	500				95,4%			95,8%		95,8%	96,2%	95,8%	

Fonte: My WEG e NBR 17094.

3.4. Desconto concedido pelas distribuidoras (CPFL, AES, etc...)

O Programa de Eficiência Energética (PEE) promovido pelas distribuidoras e regulado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) busca incentivar o uso eficiente da energia

elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que possuam viabilidade econômica através de ESCOs (*Energy Services Company*). ECOs que são empresas especializadas em projetos de eficiência energética ou de projetos apresentados pelos próprios clientes sejam eles comércios, indústrias, etc...

O PEE promovido não visa especificamente a troca de motores. Contudo, por ser um equipamento com grande consumo de energia e utilizado em todas as aplicações, ele também é abrangido pelo programa.

Para ser selecionado para o programa é necessário o desenvolvimento de um projeto que demonstre a viabilidade e economia energética esperada com a implementação do equipamento ou solução mais eficiente e caso o projeto seja selecionado, será contemplado com um incentivo monetário e será regido através das regras já pré estabelecidas no edital do programa. No geral, para os motores elétricos, os PEEs, fornecem uma ajuda de custo com base apenas na potência (de 1 a 250 CV) do equipamento, deixando de lado a polaridade ou tensão do mesmo e em troca exigem que a remoção e instalação ocorram em um prazo máximo de 90 dias.

Buscando a maior economia possível, o PEE já contempla uma provável troca por um equipamento com maior rendimento do que o exigido pela norma; e para incentivar o uso de motores mais eficientes, o bônus pago é maior para motores IR3 do que para o IR2, como mostra a tabela 7.

Tabela 7: Incentivo monetário em reais por potência de motor e nível de rendimento

Potência Nominal		PEE	
kW	CV	IR2	IR3
0,12	0,16		
0,18	0,25		
0,25	0,33		
0,37	0,5		
0,55	0,75		
0,75	1	244	360
1,1	1,5	244	463
1,5	2	420	593
2,2	3	595	878
3	4	722	1092
3,7	5	782	1092
4,4	6	782	1155
5,5	7,5	782	1236
7,5	10	1080	1680
9,2	12,5	1147	2080
11	15	1147	2080
15	20	1147	2395
18,5	25	1501	2700
22	30	1501	2864
30	40	1940	3777
37	50	1940	4005
45	60	2972	5174
55	75	3850	6331
75	100	4318	7449
90	125	7701	12078
110	150	9181	14131
132	175	10484	15572
150	200	10484	15710
185	250	15798	22157
220	300		
260	350		
300	400		
330	450		
370	500		

Fonte: Elaborado pelo autor

4. Análise de dados

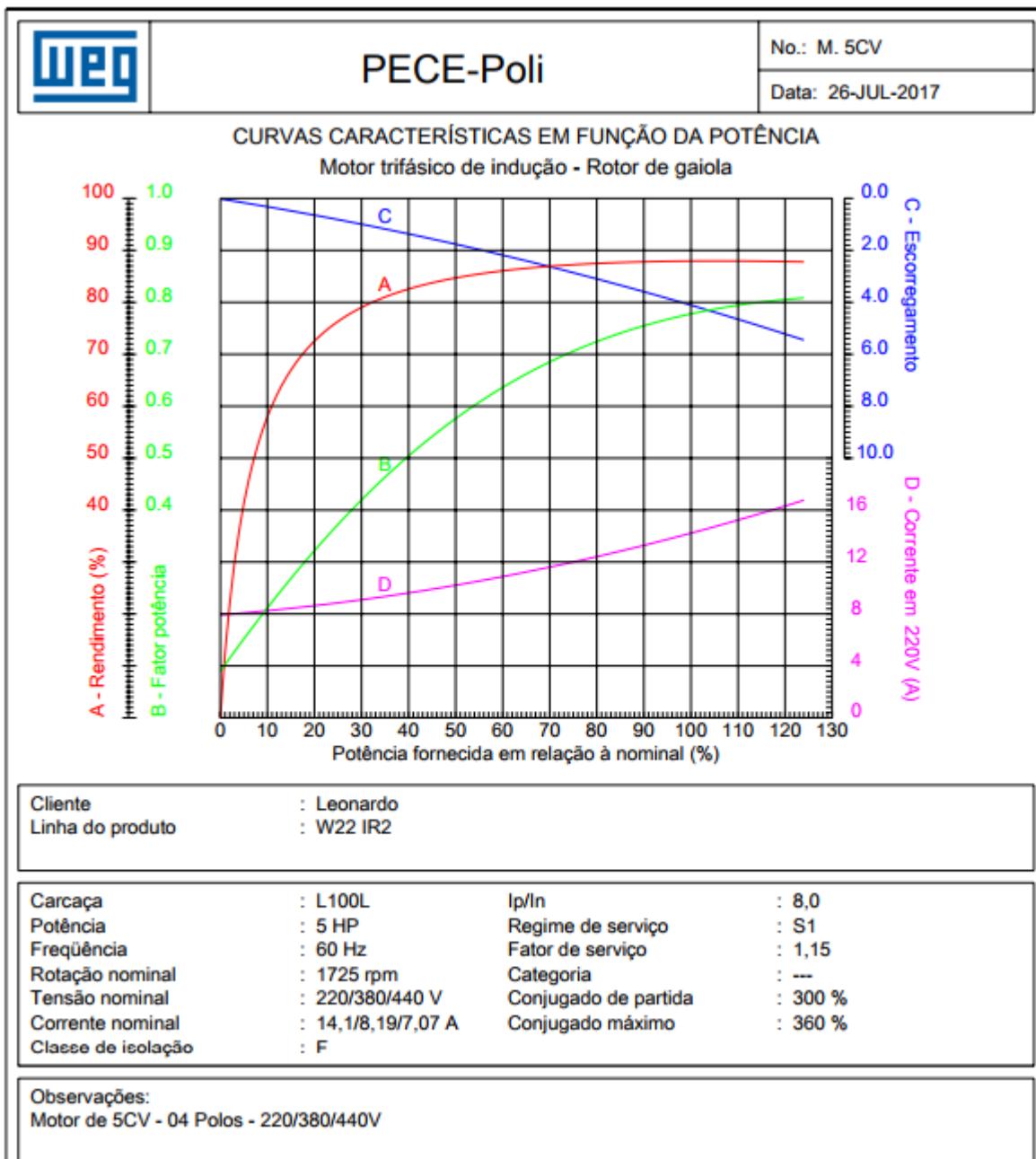
4.1.Premissas

Com base nas tabelas 4, 5, 6 e 7 é possível montar diversos cenários e análises. Porém, para cálculos de viabilidade e retorno econômico, é necessário considerar algumas premissas para que os cálculos possam ser desenvolvidos corretamente.

A primeira premissa a ser considerada é a carga que o equipamento acionado pelo motor elétrico demanda. Existem diversos tipos de aplicações e equipamentos porém os mais comuns em todos os tipos de indústrias são bombas centrífugas, ventiladores centrífugos e compressores. Para essas aplicações é comum que o OEM (*"Original equipment manufacturer"*) deixe uma margem de 10% a 20% do torque necessário para atender o seu torque.

Motores elétricos que operam entre 100% e 75% de sua carga nominal tendem a manter um nível de rendimento semelhante, enquanto aplicações que exijam torques menores que 75% da carga demonstram um decaimento acentuado do nível de rendimento do motor, conforme mostra a curva “A”, da figura 7.

Figura 10: Curva de desempenho de motor elétrico de 5CV – 04 polos



Fonte: catalogo.weg.com.br

Outro ponto importante a ser considerado no estudo é o tempo de operação do equipamento que pode variar de segmento para segmento. Uma usina de álcool irá operar com o motor praticamente durante 24 horas por dia, em 7 meses consecutivos; porém, na entressafra, o motor é parado ou sua carga é reduzido para praticamente zero. Outro exemplo seria o de uma empresa de saneamento de água que tem que fazer o tratamento e o bombeamento

para as cidades durante todas as horas do dias e por todos os dias do ano, considerando uma parada mínima para manutenção dos motores.

Considerando os cenários de carga e tempo de operação, para o escopo deste estudo está sendo considerado uma carga de 75% dos motores e uma operação de 7446 horas por ano.

O custo da energia é um fator que interfere diretamente na viabilidade e no estudo de troca, para esse estudo está sendo considerado o custo da energia a R\$ 0,35 por kilowatt (kW).

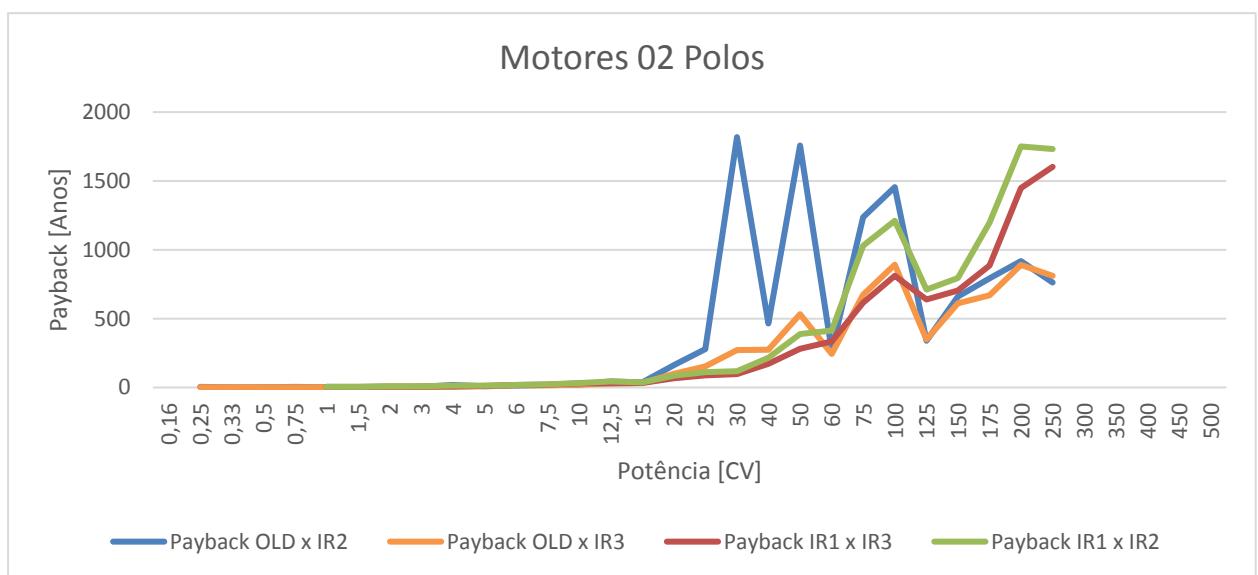
Outro ponto que está sendo levado em conta é que a Lei nº10.295 (atual NBR 17094) que estabeleceu os limites mínimos dos motores IR1 não estabeleceu rendimentos padrões para motores de 02, 04, 06 e 08 polos da potência de 0,16 a 0,75CV, e por isso não estão sendo considerados nesse estudo.

4.2.Análise geral

As Figuras a seguir comparam motores com mais de 20 anos ou “OLD” e motores com índice de eficiência IR1 com motores IR2 e IR3.

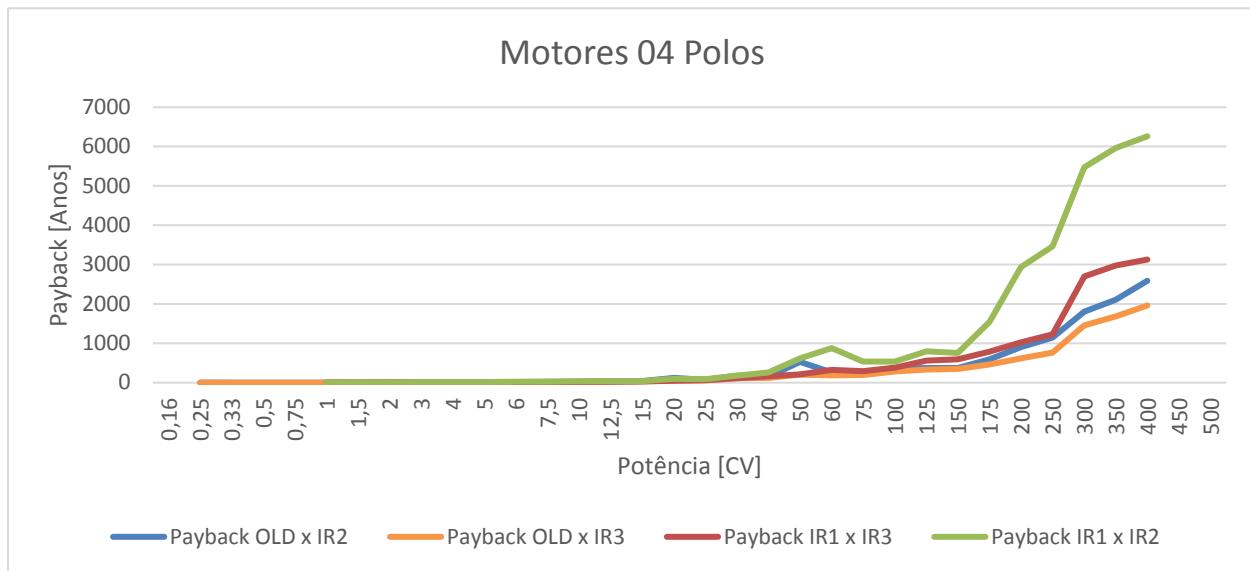
Com base nos custos médios dos motores IR2 e IR3 e a economia anual projetada é possível analisar individualmente os motores de 02, 04 e 06 polos e conforme as Figuras 11, 12 e 13 verifica-se que para se obter um payback aceitável de até 5 anos é necessário selecionar uma faixa menor de potência, ao invés de analisar toda a abrangencia que a NBR 17094 estabelece.

Figura 11: Payback para motores de 02 polos



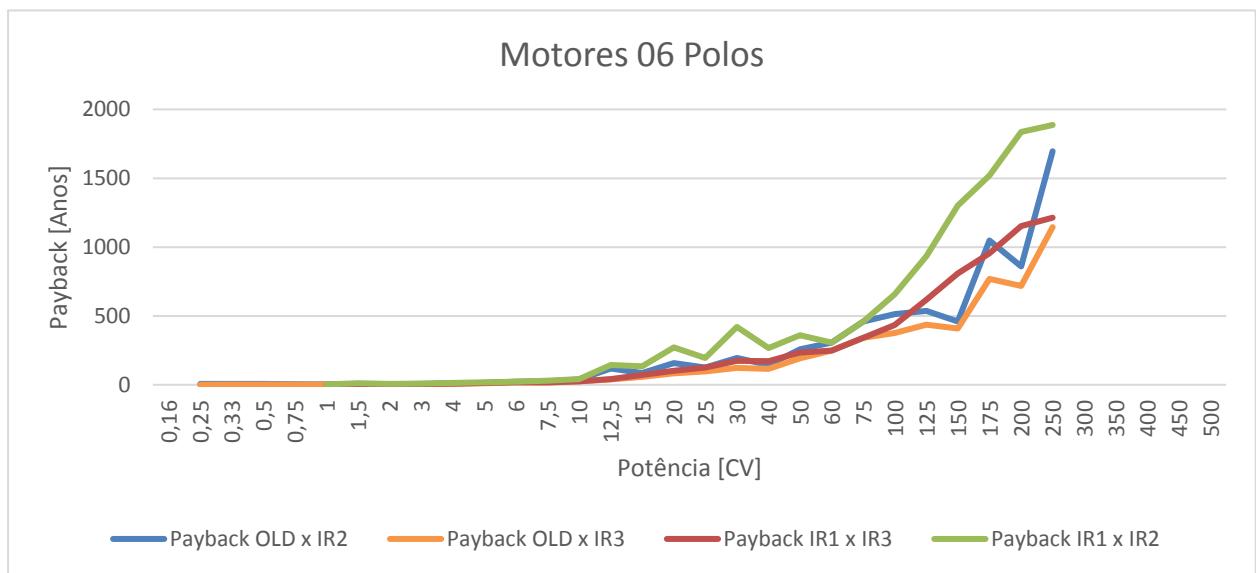
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 12: Payback para motores de 04 polos



Fonte: Elaborado pelo autor

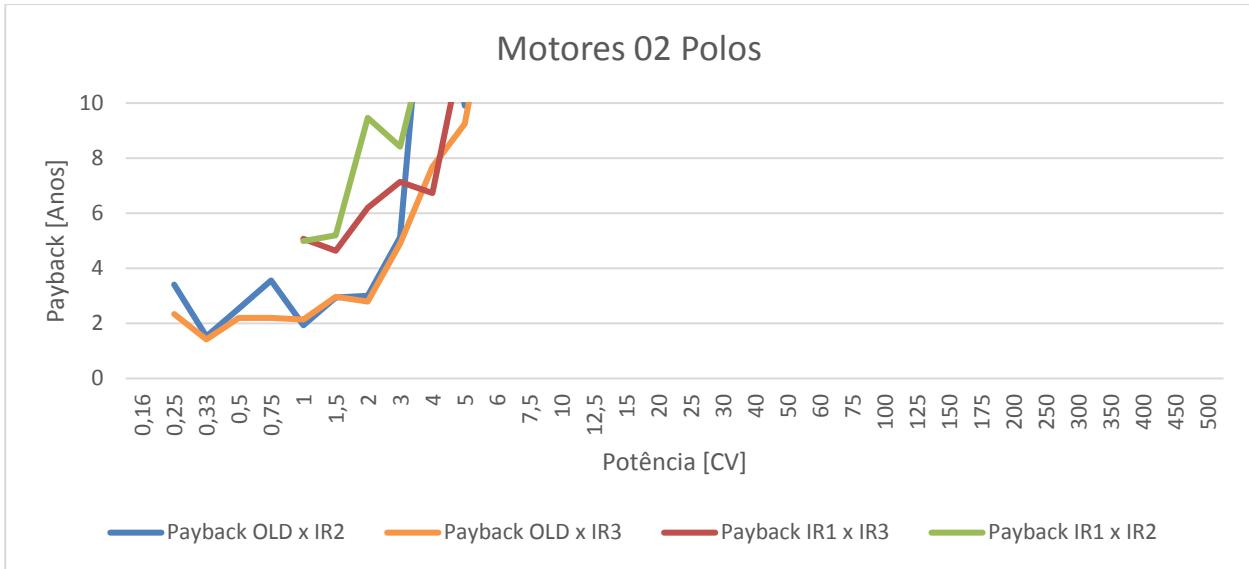
Figura 13: Payback para motores de 06 polos



Fonte: Elaborado pelo autor

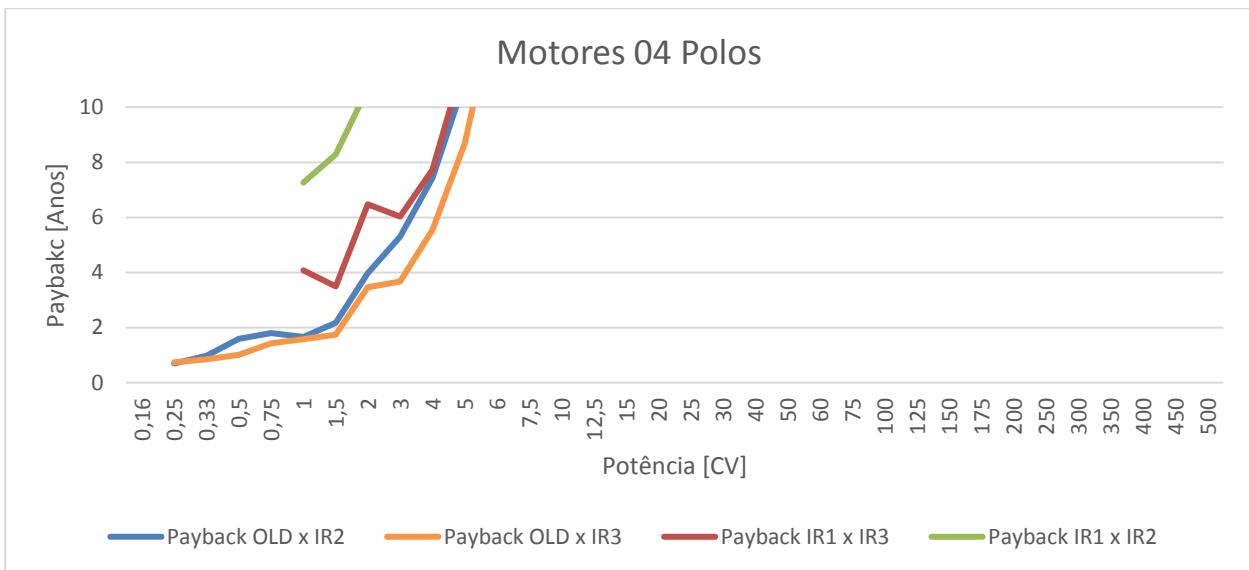
Após formatação do eixo de payback, limitando até 10 anos, é possível a selecionar uma faixa de potência para aprofundamento do estudo conforme mostram as Figuras 14, 15 e 16.

Figura 14: Payback para motores de 02 polos



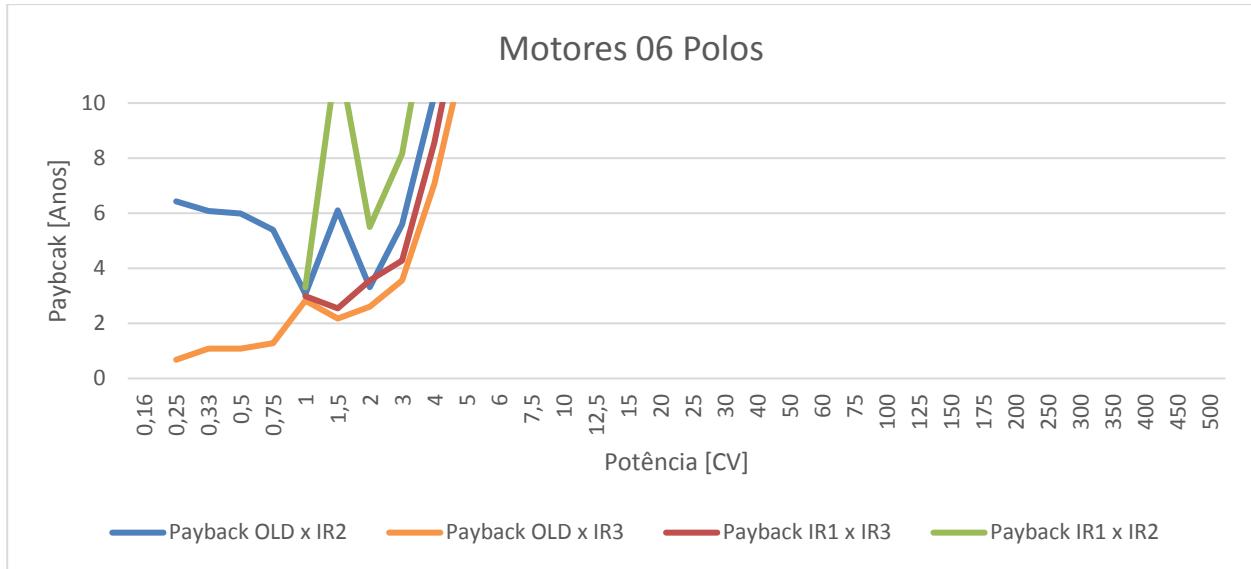
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 15: Payback para motores de 04 polos



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 16: Payback para motores de 06 polos



Fonte: Elaborado pelo autor

É possível afirmar que, para uma análise de viabilidade econômica para motores de 02, 04 e 06 polos, é necessário estabelecer e focar em uma faixa de motores que variam de 0,25 CV até 10 CV.

4.3.Troca de motores antigos por IR2 ou IR3

A análise que normalmente é feita pelo mercado é a de investimento. Comparando o custo dos motores de IR2 (Alto Rendimento) e IR3 (Rendimento “Premium”), é possível afirmar que a variação de preço se encontra entre 12% e 18%, o que pode ser considerado uma diferença significativa em termos de CAPEX; mas isso com uma análise “miope” de curto prazo. O custo de investimento em um motor elétrico representa apenas 2,5% de seu custo global, e é com base nessa informação e nas análises das Figuras 14, 15 e 16 que é possível afirmar que motores IR3 são a melhor escolha para a troca.

Comparando motores com mais de 20 anos de operação com os motores IR2 e IR3, mesmo que em alguns casos, como aqueles em que os motores de 1 CV possuam um “payback” semelhante, é recomendado a aquisição de motores com uma tecnologia mais nova e, portanto, mais confiável. Analisando os motores IR1, com os IR2 e IR3, o cenário se repete porém com uma diferença maior de “payback” indicando a melhor solução e a tecnologia mais eficiente.

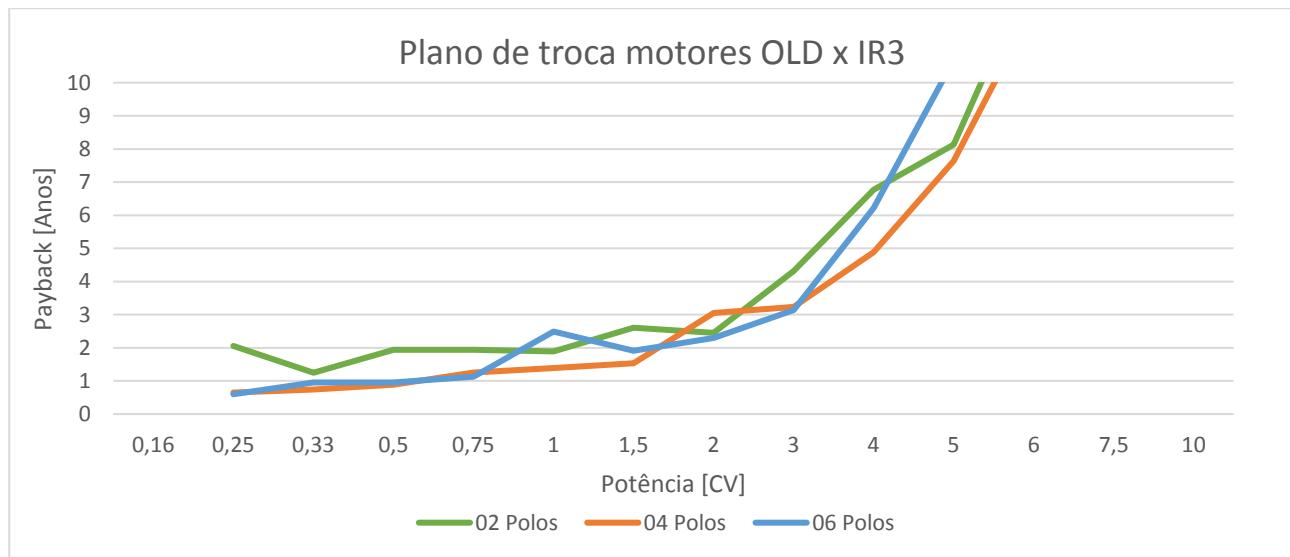
4.4. Plano de troca de motores

Alguns fabricantes de motores elétricos visando promover a consciência de conservação de energia incentivam os clientes a trocarem os seus motores usados ou queimados por motores mais eficientes e, em contrapartida concedem um desconto na compra do equipamento novo.

O Plano de Troca é um programa WEG que incentiva a substituição de motores antigos, danificados ou com baixos níveis de rendimento, onde o motor usado de qualquer marca entra como parte do pagamento de um motor WEG novo. Com isso a WEG promove a utilização de motores com maiores rendimentos e cria consciência da conservação de energia, tornando sua planta mais eficiente. (Plano de troca guia rapido portugues)

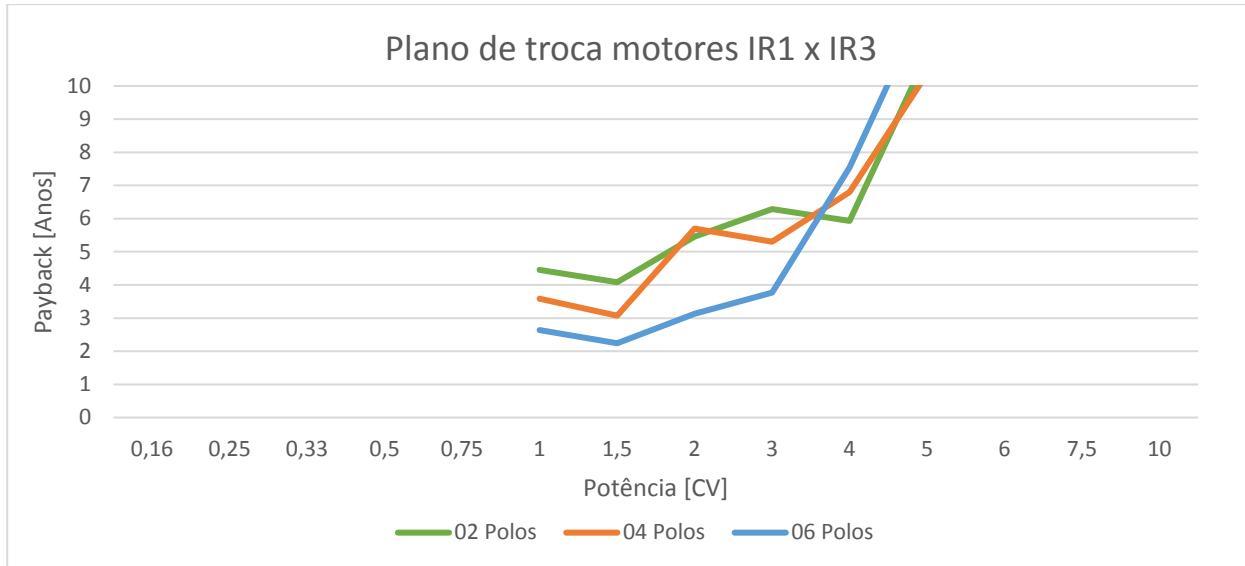
Conforme o guia desenvolvido pela empresa WEG, “Os motores usados/danificados podem estar queimados/danificados, mas devem estar com bobinado, rotor, carcaça, tampas e rolamentos”. Conforme informado, o motor elétrico a ser trocado pode estar usado ou queimado e se enquadrar no programa que garante um desconto de 12% na compra do novo motor e permite que o “payback” inicialmente desenvolvido sem nenhum desconto, seja melhorado. As figuras 17 e 18 mostram o novo “payback” considerando o desconto fornecido pelo fabricante WEG.

Figura 17: Payback considerando o plano de troca para motores com mais de 20 anos comparando com IR3



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 18: Payback considerando o plano de troca para motores IR1 comparando com IR3



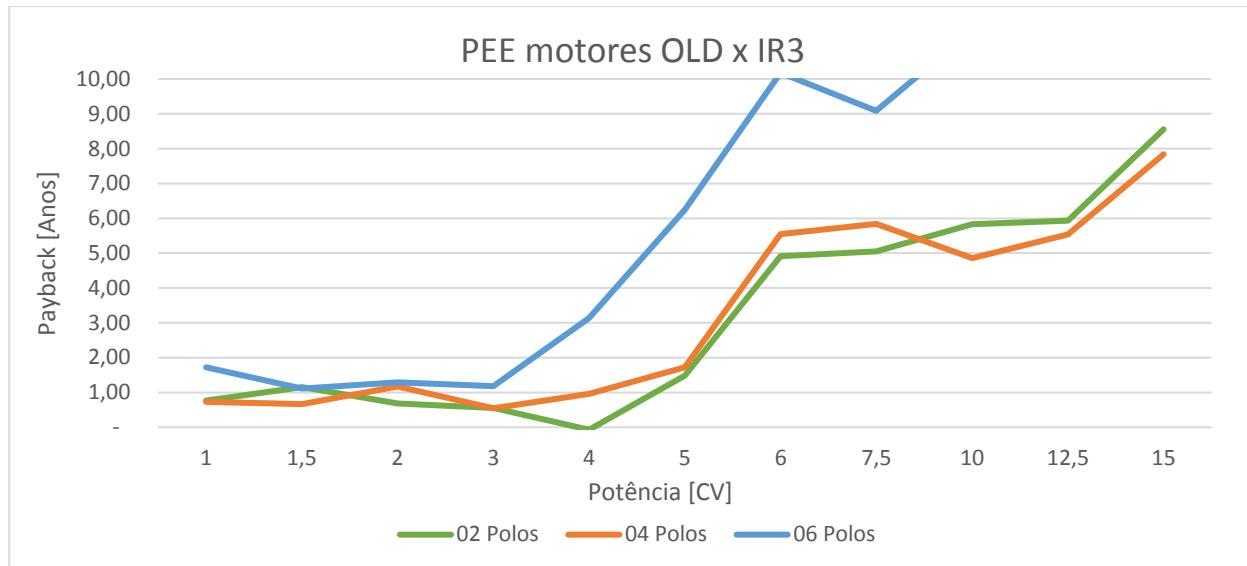
Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 17 mostra uma grande viabilidade econômica para a troca de motores até 2 CV, com um “payback” de até 3 anos, o que em grandes empresas já é considerado um retorno aceitável. A Figura 18 mostra uma viabilidade menos atrativa de praticamente 6 anos para motores até 2CV.

4.5. Programa de Eficiência Energética

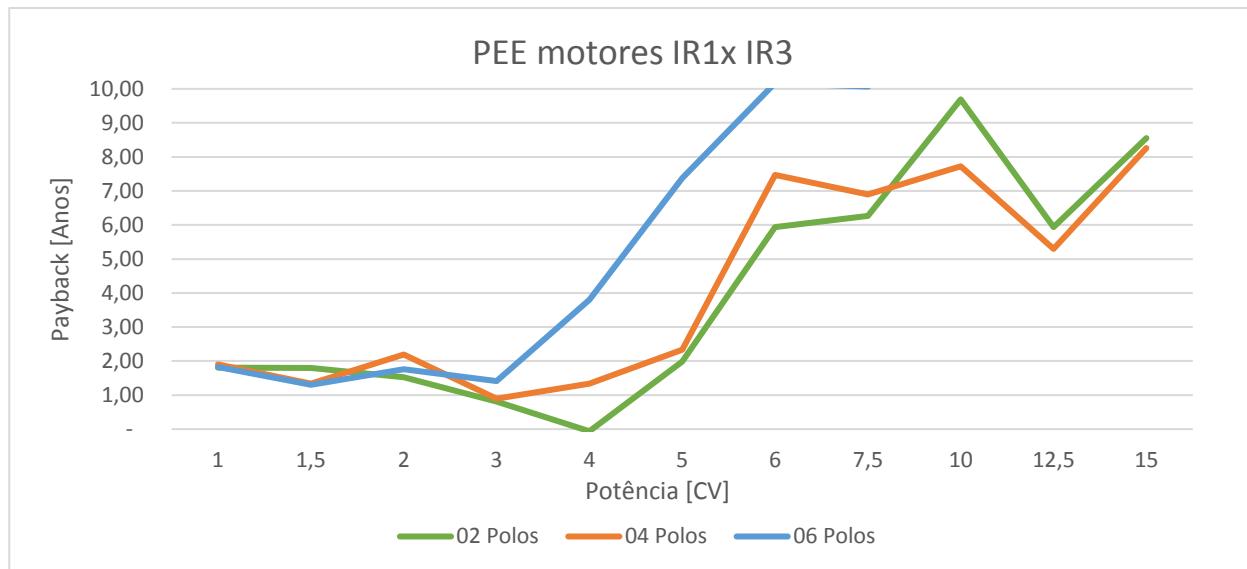
Similar ao plano de troca dos fabricantes a ANEEL também incentiva a troca de motores menos eficientes por motores mais novos e mais eficientes no PEE do Projeto Prioritário que acontece 1 vez por ano em cada uma das distribuidoras. Existem dois tipos de bonificações que irão variar de acordo com o nível de rendimento do motor. Analisando o IR2 e o IR3, o valor pago pela concessionária é em média 57% maior para o motor com maior eficiência; e com base na informação de que o motor IR3 é apenas 15% mais caro que o IR2 é possível afirmar que a opção pela linha IR3 é a correta. A combinação do PEE com o plano de troca de motores dos fabricantes não é possível, pois em ambos os casos é necessário a entrega do motor para descarte, inviabilizando assim uma optimização do investimento. Como o PEE é apenas aplicável para motores maiores que 1 CV as Figuras 19 e 20 mostram o novo “payback” com o incentivo das distribuidoras a partir de 1CV e até 5CV por demonstrar grande viabilidade.

Figura 19: Payback considerando o PEE para motores com mais de 20 anos comparando com IR3



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 20: Payback considerando o PEE para motores IR1 comparando com IR3



Fonte: Elaborado pelo autor

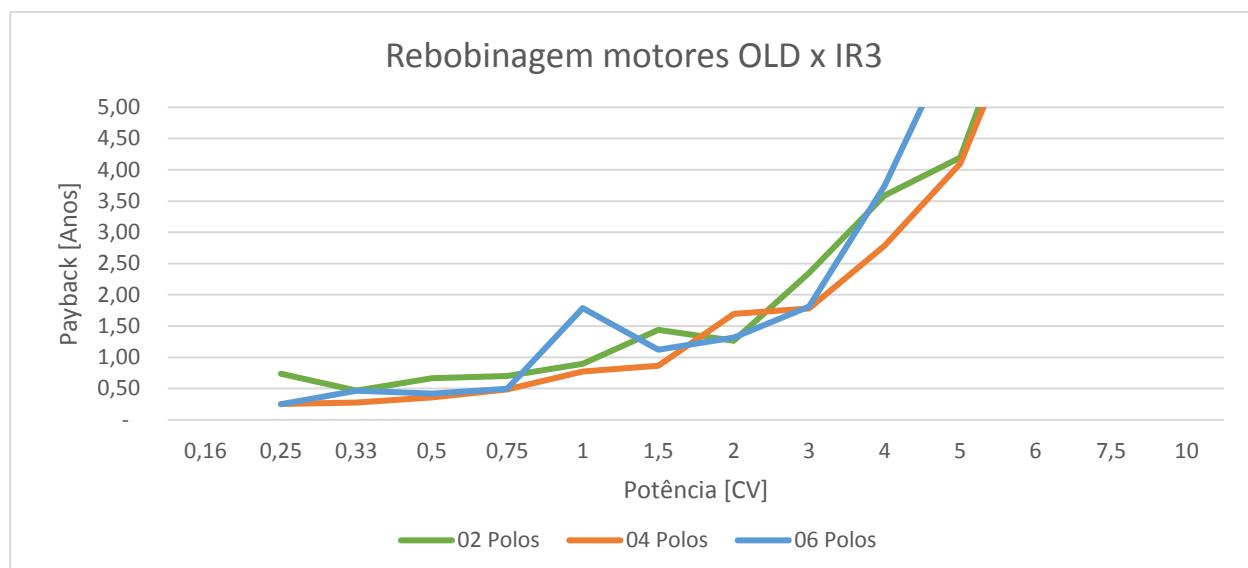
Conforme é possível observar, a bonificação fornecida pelo Projeto Prioritário é maior que o desconto fornecido pelo plano de troca. Logo, essa solução permite que se obtenha um payback menor que 3 anos para todos os motores de 5CV de 02 e 04 polos.

4.6. Rebobinagem de motores elétricos x compra de motores novos

O rebobinamento de motores elétricos é uma prática muito comum no mercado principalmente por representar um investimento menor que a compra de um motor novo em decorrência do fato de não ser necessário se preocupar com uma eventual adaptação mecânica

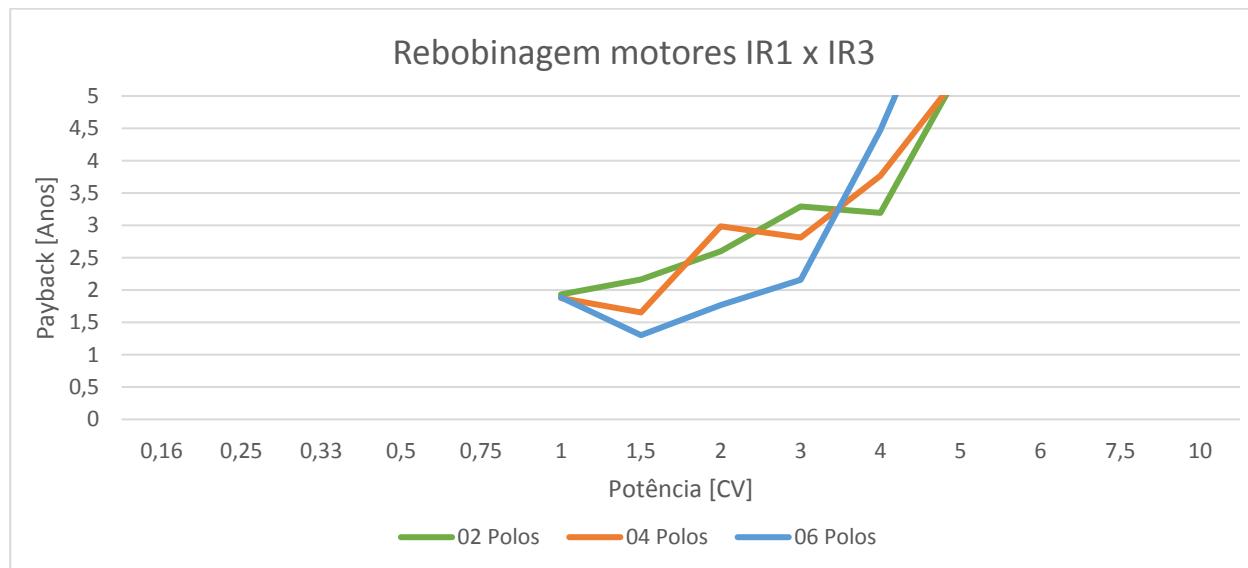
para garantir a intercambiabilidade. Existe também o importante fator a ser considerado, a perda de rendimento que pode variar de 1% a 4%, para o estudo em questão será considerado uma perda conservadora de 1%. O rebobinamento em si já envolve um investimento que no caso será descontado do custo de um motor novo para analisar a sua viabilidade. As Figuras 21 e 22 mostram o “payback” dos motores, já considerando o investimento que deveria ser feito para a sua rebobinagem.

Figura 21: Payback considerando o custo de rebobinagem para motores com mais de 20 anos comparando com IR3



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 22: Payback considerando o custo de rebobinagem para motores IR1 comparando com IR3



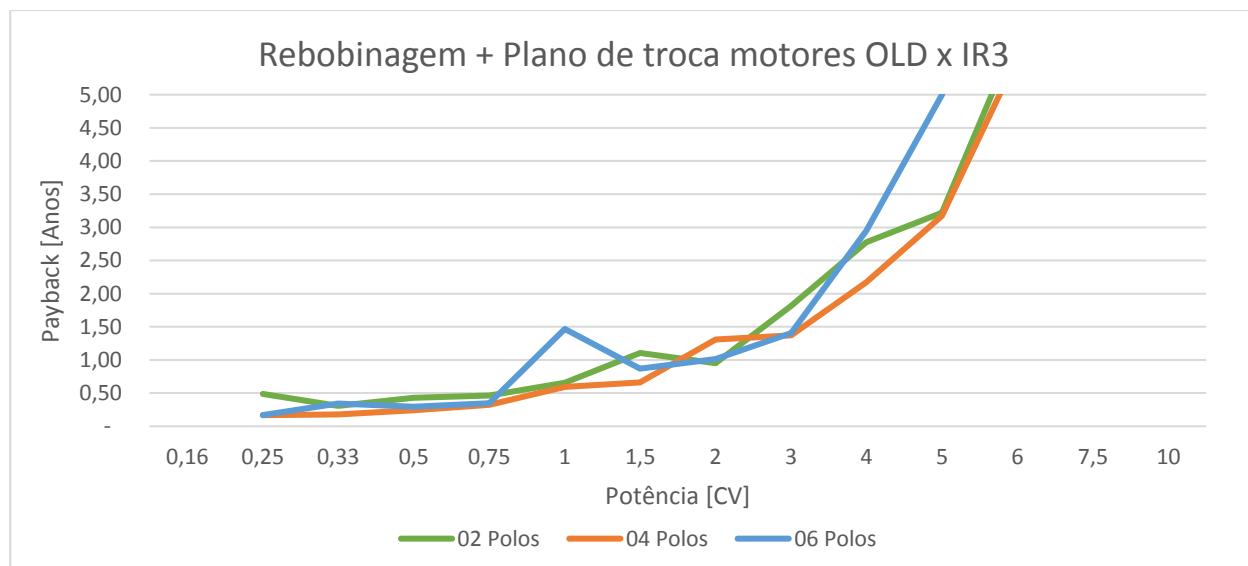
Fonte: Elaborado pelo autor

Analizando a faixa de potência de 0,25 a 1,5CV, não há dúvidas sobre o benefício da compra de motores novos ao invés da troca uma vez que o “payback” se dá em menos de 2 anos e o PEE não cobre essa faixa de potência.

4.7.Rebobinagem de motores elétricos x compra de motores novos utilizando o plano de troca

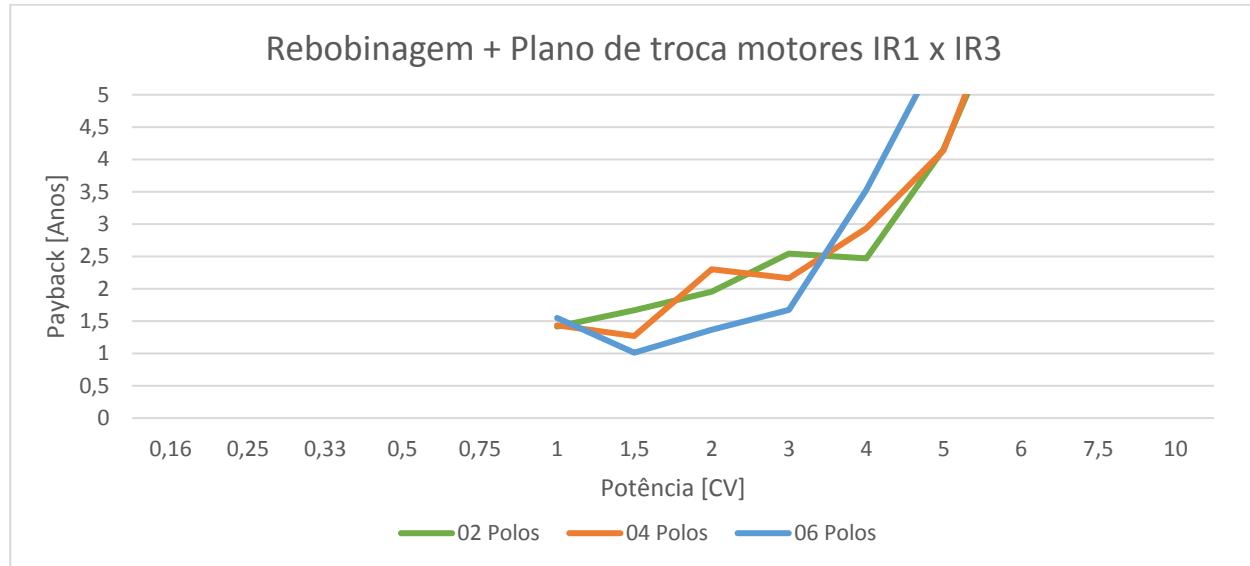
Não muito conhecido no mercado, mas uma possibilidade real e mais rentável que a simples troca após queima, é utilizar o próprio motor queimado no plano de troca dos fabricantes, conforme guia do fabricante WEG “Os motores usados/danificados podem estar queimados/danificados, [...]”, o que evidencia que não apenas motores que estão em funcionamento mas motores que deixaram de funcionar por queima, também são enquadrados no programa e podem receber o benefício do desconto de 12%. Considerando o investimento que seria feito no rebobinamento e o plano de troca combinados é possível diminuir o “payback” para níveis ainda menores conforme mostrado nas Figuras 23 e 24.

Figura 23: Payback considerando o custo de rebobinagem para motores com mais de 20 anos comparando com IR3 e combinado com o plano de troca.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 24: Payback considerando o custo de rebobinagem para motores IR1 comparando com IR3 e combinado com o plano de troca.



Fonte: Elaborado pelo autor

5. Conclusão

Apesar dos motores IR2 serem mais barato e serem chamados de linha de alto rendimento ela não é a melhor solução a ser considerada em projetos de eficiência energética. Apesar de possuir um rendimento elevado se comparado com a linha padrão, quando comparado com a linha de rendimento “premium”, não há nenhuma dúvida de que a melhor opção é sempre a do equipamento mais eficiente.

Existem diversos tipos de incentivos e maneiras diferentes de auxiliar na viabilização de projetos de troca de motores elétricos, assim como no estabelecimento de uma premissa para a empresa de potências mínimas em que é mais viável a rebobinagem do que a compra de um equipamento novo.

Dentre todas as possibilidades descritas, a mais vantajosa é o PEE (Programa de eficiência energética) regido pela ANEEL e obrigatório a todas as distribuidoras de energia. Apesar de apresentar a maior viabilidade econômica, é preciso ponderar que também apresenta o maior risco, pois ocorre apenas 1 vez ao ano e existe a possibilidade de não aceitação uma vez que o projeto, concorre com outros projetos de outras empresas e até mesmo com outros equipamentos e à verba destinada a esse projeto é limitada a verba disponibilizada pela concessionária.

No caso da queima de um motor de pequena potência é sempre indicado a troca ao invés da opção pelo rebochinamento, uma vez que já existe um custo mínimo para o reparo do motor e, quando combinado com o programa de troca de motores, apresenta uma ótima viabilidade, a qual, diferentemente do PEE, não necessita de nenhuma de aprovação ou concorrência.

É do nosso entendimento que um “payback” aceitável é o que apresenta uma viabilidade menor que 3 anos. E considerando esse retorno a tabela 8 demonstra quais motores são indicados a compra em cada situação.

Tabela 8: Payback menor que 3 anos para PEE e Rebobinagem combinado com plano de troca

Potência Nominal		PEE			Rebobinagem + Plano de Troca		
		Velocidade Síncrona [rpm]			Velocidade Síncrona [rpm]		
kW	CV	02 Polos	04 Polos	06 Polos	02 Polos	04 Polos	06 Polos
0,12	0,16	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
0,18	0,25	N.A.	N.A.	N.A.	Sim	Sim	Sim
0,25	0,33	N.A.	N.A.	N.A.	Sim	Sim	Sim
0,37	0,5	N.A.	N.A.	N.A.	Sim	Sim	Sim
0,55	0,75	N.A.	N.A.	N.A.	Sim	Sim	Sim
0,75	1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
1,1	1,5	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
1,5	2	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
2,2	3	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
3	4	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não
3,7	5	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
4,4	6	Não	Não	Não	Não	Não	Não
5,5	7,5	Não	Não	Não	Não	Não	Não
7,5	10	Não	Não	Não	Não	Não	Não
9,2	12,5	Não	Não	Não	Não	Não	Não
11	15	Não	Não	Não	Não	Não	Não
15	20	Não	Não	Não	Não	Não	Não
18,5	25	Não	Não	Não	Não	Não	Não
22	30	Não	Não	Não	Não	Não	Não
30	40	Não	Não	Não	Não	Não	Não
37	50	Não	Não	Não	Não	Não	Não
45	60	Não	Não	Não	Não	Não	Não
55	75	Não	Não	Não	Não	Não	Não
75	100	Não	Não	Não	Não	Não	Não
90	125	Não	Não	Não	Não	Não	Não
110	150	Não	Não	Não	Não	Não	Não
132	175	Não	Não	Não	Não	Não	Não
150	200	Não	Não	Não	Não	Não	Não
185	250	Não	Não	Não	Não	Não	Não
220	300	Não	Não	Não	Não	Não	Não
260	350	Não	Não	Não	Não	Não	Não
300	400	Não	Não	Não	Não	Não	Não
330	450	Não	Não	Não	Não	Não	Não
370	500	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar do entendimento de que 3 anos de viabilidade econômica é aceitável muitas empresas consideram o “payback” mínimo para aprovação de projetos o prazo de 2 anos, logo; a tabela 9 mostra as viabilidades para o novo prazo.

Tabela 9: Payback menor que 2 anos para PEE e Rebobinagem combinado com plano de troca

Potência Nominal		PEE			Rebobinagem + Plano de Troca		
		Velocidade Síncrona [rpm]			Velocidade Síncrona [rpm]		
kW	CV	02 Polos	04 Polos	06 Polos	02 Polos	04 Polos	06 Polos
0,12	0,16	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
0,18	0,25	N.A.	N.A.	N.A.	Sim	Sim	Sim
0,25	0,33	N.A.	N.A.	N.A.	Sim	Sim	Sim
0,37	0,5	N.A.	N.A.	N.A.	Sim	Sim	Sim
0,55	0,75	N.A.	N.A.	N.A.	Sim	Sim	Sim
0,75	1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
1,1	1,5	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
1,5	2	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim
2,2	3	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim
3	4	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
3,7	5	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
4,4	6	Não	Não	Não	Não	Não	Não
5,5	7,5	Não	Não	Não	Não	Não	Não
7,5	10	Não	Não	Não	Não	Não	Não
9,2	12,5	Não	Não	Não	Não	Não	Não
11	15	Não	Não	Não	Não	Não	Não
15	20	Não	Não	Não	Não	Não	Não
18,5	25	Não	Não	Não	Não	Não	Não
22	30	Não	Não	Não	Não	Não	Não
30	40	Não	Não	Não	Não	Não	Não
37	50	Não	Não	Não	Não	Não	Não
45	60	Não	Não	Não	Não	Não	Não
55	75	Não	Não	Não	Não	Não	Não
75	100	Não	Não	Não	Não	Não	Não
90	125	Não	Não	Não	Não	Não	Não
110	150	Não	Não	Não	Não	Não	Não
132	175	Não	Não	Não	Não	Não	Não
150	200	Não	Não	Não	Não	Não	Não
185	250	Não	Não	Não	Não	Não	Não
220	300	Não	Não	Não	Não	Não	Não
260	350	Não	Não	Não	Não	Não	Não
300	400	Não	Não	Não	Não	Não	Não
330	450	Não	Não	Não	Não	Não	Não
370	500	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: Elaborado pelo autor

6. Bibliografia

Motores Elétricos por Francisco, António

Editora: ETEP; Edição 5ª, Revista, Amentada e Atualizada

Motores Elétricos e Acionamentos por Petruzella, Frank D.

Editora: Mc Graw Hill; Edição 1ª

Fundamentos Básicos de Máquinas Elétricas. Teorias e Ensaios por Rezek, Ângelo José Junqueira.

Editora: Synergia; Edição 1ª

Catalogo Eletronico da WEG - Cartilha WEG - Gestão eficiente da energia elétrica. Disponível em:

< <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cartilha-weg-uso-eficiente-da-energia-eletrica-50030292-catalogo-portugues-br.pdf> >. Acesso em 8 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Case PEE Celesc - Indústria. Disponível em:

< <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-case-de-eficiencia-energetica-celesc-estudo-de-caso-portugues-br.pdf> >. Acesso em 8 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Case Tigre - Tubos e Conexões. Disponível em:

< <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-case-de-eficiencia-energetica-tigre-estudo-de-caso-portugues-br.pdf> > . Acesso em 8 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Cases de sucesso WEG Motores. Disponível em:

<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cases-de-sucesso-weg-motores-50034810-estudo-de-caso-portugues-br.pdf>>. Acesso em 8 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Considerações sobre redimensionamento de motores elétricos de indução. Disponível em:

<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-consideracoes-sobre-redimensionamento-de-motores-eletricos-de-inducao-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acesso em 8 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Danos em Enrolamentos. Disponível em:

<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-danos-em-enrolamentos-motores-trifasicos-50009255-guia-de-instalacao-portugues-br.pdf>>. Acesso em 8 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Buaiz alimentos, estudio de caso. Disponível em:

< <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-eficiencia-energetica-buaiz-alimentos-estudio-de-caso-espanol.pdf> >. Acesso em 8 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Eficiencia Energética – Chocolates Garoto. Disponível em:

< <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-eficiencia-energetica-chocolates-garoto-estudio-de-caso-espanol.pdf> >. Acesso em 8 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Eficiencia energética en Cargill. Disponível em:

< <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-eficiencia-energetica-en-cargill-estudio-de-caso-espanol.pdf> >. Acesso em 9 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Eficiencia energética en sistemas motrices. Disponível em:
<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-eficiencia-energetica-en-sistemas-motrices-estudio-de-caso-espanol.pdf>>. Acesso em 9 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Plano de Troca WEG. Disponível em:
<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-faq-plano-de-troca-guia-rapido-portugues-br.pdf>>. Acesso em 9 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Motores Elétricos, Guia de Especificação. Disponível em:
<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacao-de-motores-eletricos-50032749-manual-portugues-br.pdf>>. Acesso em 9 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Industria + Eficiente. Disponível em:
< <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-industria-+-eficiente-estudo-de-caso-portugues-br.pdf>>. Acesso em 9 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Manual geral de instalação, operação e manutenção de motores elétricos. Disponível em:
< <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-iom-general-manual-of-electric-motors-manual-general-de-iom-de-motores-electricos-manual-geral-de-iom-de-motores-electricos-50033244-manual-english.pdf>>. Acesso em 9 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Mantenimiento eficiente en JMacêdo. Disponível em:
<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-mantenimiento-eficiente-en-jmacedo-estudio-de-caso-espanol.pdf>>. Acesso em 9 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG - Buaiz alimentos, estudio de caso. Disponível em:
<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-aplicacoes-industriais-50009275-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em 9 de junho de 2017

Catalogo Eletronico da WEG – Plano de troca guia rapido portugues. Disponível em:
<<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-plano-de-troca-50009266-guia-rapido-portugues-br.pdf>>. Acesso em 27 de julho de 2017

ABB Infographic – Powering the world economy. Disponível em:
<<http://www.abb.com/product/ap/db0003db004052/ced766241e316af5c12578b00051d2d9.aspx>>. Acesso em 9 de junho de 2017

ABB The Motor Guide (Basic Technical information about low voltage standard motors)
Editora: ISBN 952-91-0728-5; Second edition 2005

Guia Operacional de Motores Elétricos por Moreira, H.J.F.
Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel; Cepel/Cate, [2000]

Motor Elétrico Premium por Ferreira, C.A
Rio de Janeiro: Eletrobras; 2016

Impacto da Lei de Eficiência Energética para motores elétricos no potencial de conservação de energia na indústria por Gomes Pinto Garcia, A.

Dissertação (Mestrado em planejamento Energético), COPEE-URFJ, Rio de Janeiro, 2003

Implementação de motores de alto rendimento em uma indústria de alimentos: estudo de caso por Ramos, Mario Cesar do Espírito Santo.

Dissertação (Mestrado em Energia), Instituto de Eletrotécnica - USP, São Paulo, 2005

Sistemas de Bombeamento - Eficiência Energética por GOMES, H. P. (Organizador).

Editora Universitária, 1ª Edição, 460p. João Pessoa/UFPB, 2009.

Avaliação dos índices de eficiência energética para motores trifásicos de indução por Schaeffer, R. et al.

Relatório final (Especialização)- COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

Revista Potência – Movimentando o Mundo – Motores e dispositivos de comando, acionamento e proteção.

Edição 117, Setembro de 2015.