

PROPOSTA DE UMA INDÚSTRIA DE CIMENTO VISANDO A GESTÃO ENERGÉTICA, COM O EMPREGO DE MOTORES MAIS EFICIENTES E SUSTENTÁVEIS.

Lara Caroline Ramos (IC) e Maria Thereza Moraes Gomes Rosa (Orientadora)

Apoio: PIBIC Mackpesquisa

RESUMO

A presente pesquisa tem como foco a análise de alguns motores utilizados por uma indústria de cimento e a comparação dos mesmos com motores mais eficientes presentes no mercado atual. O *software* Mark IV Plus da PROCEL foi utilizado para otimizar os dados obtidos por uma indústria de cimento, fornecendo as perdas de energia de cada motor. Este trabalho também apresenta o período de retorno do investimento com novos motores e a viabilidade de troca. O investimento em novos motores mostrou-se viável e interessante para a indústria de cimento, já que através da análise foi observada uma economia de energia elétrica com todas as substituições. Os motores substitutos WEG de M-1, M-5, M-12, M-16, M-18, M-19 e M-20 apresentaram uma economia anual com perdas energéticas de R\$14.650,00 e a indústria obteria o retorno do investimento em aproximadamente 2 anos, o que demonstrou a viabilidade de substituição. O motor da Voges M-15 apresentou a maior redução de perdas energéticas, o que levaria a empresa a economizar R\$8.600,00 anualmente. As concessionárias de distribuição de energia, juntamente com o governo, vêm incentivando a eficiência energética através de programas de trocas de motores, fornecendo descontos para as indústrias que querem otimizar seus equipamentos. As inovações tecnológicas vêm melhorando o desempenho dos motores elétricos, com o aumento do rendimento e do fator de serviço, lançando linhas de equipamentos mais eficientes e sustentáveis.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Motor Elétrico. Indústria de Cimento.

ABSTRACT

This research has its focus on the analysis of some electric motors used by a cement industry and their comparison with more efficient engines that are available in the current market. PROCEL Mark IV Plus *software* was used to optimize the data obtained by a cement industry, providing the energy losses of each engine. This paper also presents the payback period of the investment with new engines and the viability of exchange. The investment in new electric motors was proved viable and interesting for the cement industry, since there was an energy saving with all of the replacement engines. The replacement engines of WEG M-1, M-5, M-12, M-16, M-18, M-19 e M-20 presented an annual energy saving of R\$14.650,00 and the industry would get the return of the investment in approximately 2 years, which demonstrated the viability of replacement. The replacement engine of Voges presented the largest reduction of energy losses, which would lead the company to save R\$8.600,00 annually. Power utilities

along with the government have been encouraging energy efficiency through engine change programs, providing discounts to industries that want to optimize their equipment. Technological innovations have been improving the performance of electric motors, increasing the efficiency and the service factor, launching more efficient and sustainable equipment lines.

Keywords: Energy Efficiency. Electric Motor. Cement Industry.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Problema de Pesquisa

É possível planejar uma indústria de cimento que utiliza motores que possuem alto desempenho, com menos gastos de energia para a produção, visando a eficiência energética, a menor perda de energia útil e contribuindo para um ambiente mais sustentável?

1.2 Justificativa

As indústrias de modo geral necessitam de altas quantidades de energia, podendo ser energia elétrica ou energia obtida pela queima de combustíveis fósseis. Tais energias geram resíduos, poluição, gases efeito estufa, além de provocar grandes interferências no meio ambiente. Diversas empresas estão se conscientizando para reduzir o consumo de energia, visando a melhora interna com diminuição de gastos e a melhora ambiental, reduzindo os impactos causados ao meio ambiente. Além disso, muitas conferências para redução de consumo energético estão ocorrendo, abrangendo diversos países, com criação de novas leis e certificações ambientais.

Em países desenvolvidos como os EUA, já são utilizados *softwares* gratuitos para simular e racionalizar o consumo de energia nas indústrias (Silva, 2013). No Brasil, já existem diversos *softwares* gratuitos para controle energético, todavia, essa prática não é muito utilizada ainda no país. Essa questão deve ser mudada, já que é de extrema importância analisar a gestão energética das fábricas, visando menos poluição e menos gastos.

Para a fabricação do cimento Portland, é necessário utilizar uma quantidade muito grande de energia. Com a análise energética, é possível aumentar a produção, com a redução dos gastos com energia, através de menos perda de energia útil e maior eficiência dos equipamentos. A proposta de uma indústria de cimento visando a gestão energética, com o emprego de equipamentos eficientes e sustentáveis, é importante para a sociedade e para um futuro melhor do planeta, além de contribuir no aumento da produtividade das indústrias, já que foram analisados diversos motores de equipamentos utilizados na fabricação do cimento Portland, possibilitando assim, a escolha dos motores mais eficientes, reduzindo a perda de energia e gastos de produção.

1.3 Objetivo

O objetivo da pesquisa foi investigar a quantidade de energia perdida pelos motores de alguns equipamentos utilizados para a fabricação de cimento Portland e, assim, propor a substituição por motores mais eficientes encontrados no mercado, através da análise e comparação de dados obtidos utilizando o *software* Mark IV Plus da PROCEL, que visa a eficiência energética.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cimento Portland

O cimento Portland é o cimento utilizado na produção de concreto armado em construções civis. Ele é um aglomerante hidráulico, ou seja, endurece pela ação exclusiva da água (PINHEIRO; CRIVELARO, 2016). Quando o cimento Portland é misturado com componentes como água, areia, brita e outros, se forma concreto e argamassas que são utilizados em obras da construção civil (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002). Existem vários tipos de cimento Portland, que se diferenciam pela quantidade de massa de cada componente e a adições de outros compostos.

A primeira etapa para a fabricação do cimento é a extração e britagem dos materiais brutos, sendo estes o carbonato de cálcio e argila (TOSTA; SOUZA; SILVA, 2007). O calcário é combinado com os outros componentes como areia, cinzas de pirita e bauxita, através da pré-homogeneização, em silos verticais ou armazéns horizontais, para se obter as quantidades necessárias de compostos como cálcio, sílica, alumínio e ferro, que são muito importantes na fabricação do cimento. A mistura formada é moída por via seca, semi-seca ou via úmida. A mistura dosada e com correta granulometria vai para o processo de homogeneização, em silos verticais grandes (LOPES, 2011). O clínquer obtido através da moagem por via seca e por via úmida é o mesmo, ou seja, o produto final tem a mesma qualidade. Todavia, no processo por via seca se gasta menos energia (CAMIOTO; REBELATTO, 2015).

Após a moagem e a homogeneização, a mistura “cru” é pré-aquecida em torres de ciclones, fase em que ocorre a pré-calcinação do material (LOPES, 2011). O clínquer é fabricado pelo aquecimento da mistura moída de materiais brutos até a fusão parcial, em fornos em que as temperaturas de aquecimento chegam a 1450°C. Os fornos são formados por cilindros giratórios inclinados, envolvidos com tijolos resistentes ao calor. Nos fornos ocorre a secagem das matérias primas e a calcinação. O clínquer é formado após algumas horas como seixos esféricos granulados. Para se obter o cimento Portland, o clínquer é resfriado em arrefecedores e submetido a um processo de moagem com uma pequena quantidade de gesso ou anidrita, para se obter um maior controle da taxa inicial da reação com água e para permitir que o concreto tenha uma boa trabalhabilidade antes do início de pega (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, 2005). Após resfriado, o cimento Portland vai para o processo de ensacamento para ser distribuído ao mercado.

2.2 Eficiência Energética

Eficiência energética significa a minimização de perdas durante a conversão de energia primária em energia útil, visando um maior desempenho na fabricação do produto,

com maior economia e a redução da poluição gerada (MOREIRA; QUELHAS; LAMEIRA, 2011).

De forma geral, os usos finais de energia nas indústrias estão separados em: caldeiras e fornos (combustíveis) e em sistemas motrizes (energia elétrica), sendo assim, estudar formas de racionalizar o consumo energético industrial, através de simulações e otimizações é de extrema importância para se ter um desenvolvimento nesse setor (SILVA, 2013). No cenário mundial, a demanda de cimento Portland aumentou, com isso, a quantidade de energia gasta para sua fabricação e a poluição por resíduos gerados pelas indústrias de cimento também aumentaram (TOSTA; SOUZA; SILVA, 2007). Segundo o autor Amaral (2013), a indústria de cimento é responsável por 6% do consumo energético do Brasil.

A quantidade de energia consumida nas etapas de fabricação do cimento está em torno de 20% a 40% do preço total da produção de cimento (AMARAL, 2013). A produção de cimento necessita de um grande consumo de energia térmica e elétrica, devido as altas temperaturas durante o processo de fabricação (TOSTA; SOUZA; SILVA, 2007). Aproximadamente 90% da energia utilizada é obtida através da queima de combustíveis, e os outros 10% é de energia elétrica (TOLENTINO, 2015). De acordo com Camioto e Rebelatto (2015), o consumo das fontes de energia na indústria de cimento no Brasil é dividido em: 76% de coque de petróleo, 10,9% de eletricidade, 8,3% outras não especificadas, 1,5% de carvão vegetal, 1,3% de óleo diesel, 1,2% de carvão mineral, 0,6% de gás natural e 0,3% de óleo combustível.

Conforme Barros (2011), existem algumas dificuldades que atrapalham a execução dos projetos de eficiência energética. As principais dificuldades são relacionadas a falta de tecnologias eficientes para o uso de energia, principalmente em países subdesenvolvidos, produtos com qualidade baixa, com desempenho baixo, falta de conhecimento por parte dos fabricantes e a falta de financiamento para projetos de eficiência energética.

2.3 Motores

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) tem como objetivo racionalizar a produção e o consumo de energia elétrica, visando principalmente a redução de desperdícios, promovendo o uso eficiente de energia. Os motores elétricos se deterioram com o passar do tempo de operação, por isso é necessário a troca desses equipamentos na indústria (YAMACHITA, 2013). Conforme Bortoni (2006), os motores elétricos consomem cerca de 25% da energia elétrica no Brasil, sendo que em indústrias em geral, os motores consomem 55% da energia elétrica utilizada. Sendo assim, a redução das perdas de energias dos motores elétricos pode contribuir com a economia energética, além de contribuir com a sustentabilidade do meio ambiente.

Segundo Garcia (2003), o motor de indução trifásico é o que está se adaptando melhor nas indústrias, como a do cimento. Este motor possui uma construção robusta e com rendimentos superiores a 90%. O ponto negativo destes motores é que sua velocidade não varia, além de ter sua operação degradada quando utilizados com baixas cargas. No Brasil, 75% dos motores são os de indução trifásico com rotor em gaiola de esquilo.

O motor de indução trifásico funciona através da interação de campos eletromagnéticos com uma corrente em um condutor. Se tem um campo magnético girante quando o estator é energizado por uma alimentação trifásica, os condutores do rotor produzem torque quando interagem com o campo magnético, fazendo com que o rotor gire. Os motores com rotor em gaiola permitem a circulação de correntes entre as barras, através de seus anéis metálicos existentes na tampa e na base. (SANTOS et al., 2016).

Com o avanço da eletrônica de potência, foram produzidos conversores de frequência, que fazem a conversão da corrente alternada em variável, o que traz economia de energia. Dessa forma, motores de alto rendimento são aqueles que possuem seu desempenho otimizado. Tais motores possuem chapas magnéticas de melhor qualidade, que são feitas de aço com altos teores de silício. Além disso, apresentam maior volume de cobre, que reduz as perdas de energia por efeito Joule, ou seja, o motor trabalha com uma temperatura mais baixa, resultando no aumento de sua vida útil. O efeito Joule é o efeito de aquecimento causado pelas colisões das partículas em movimento com as partes do condutor em repouso. Motores otimizados possuem também enrolamentos especiais, redução de perdas suplementares através de núcleos dos rotores e estatores tratados termicamente, barras e anéis maiores, melhorias na ventilação e no projeto do rotor, reduzindo assim, o entreferro (RIBEIRO; NEVES; NOGUEIRA, 2007).

Um motor de alto rendimento quando comparado a um motor padrão, apresenta rendimentos superior a ordem de 2 a 6%, isso ocorre devido a menor perda de energia para uma mesma potência mecânica. Todavia, vale ressaltar que a utilização de um motor de alto rendimento em um equipamento ineficiente não traz vantagens, já que o mesmo irá trabalhar superdimensionado (NETO, 2007). Uma causa de baixa eficiência em motores é quando o motor está rebobinado, ou seja, quando se tem uma perda de isolamento entre as bobinas. Além disso, a instalação dos motores deve ser realizada corretamente, já que isso pode impactar no rendimento. A alimentação elétrica também pode causar baixa eficiência, é comum se ter desequilíbrios entre fases e harmônicos, que geram torques negativos, fazendo com que o motor gire ao contrário e gerando assim, grandes perdas de energia. A manutenção dos motores é um fator importante, os motores devem ser limpos, lubrificados, serem instalados em um ambiente limpo e com boas conexões, já que isso também influencia no rendimento (GARCIA, 2003).

No Brasil foi aprovada a “Lei da Eficiência Energética (Lei nº 10.925 de 17.out.2001 – BRASIL, 2001), que institui a etiquetagem obrigatória, melhorando a eficiência energética e estabelecendo níveis de consumo de energia para máquinas e equipamentos comercializados ou fabricados no Brasil (NETO, 2007).

2.4 Software Mark IV PLUS

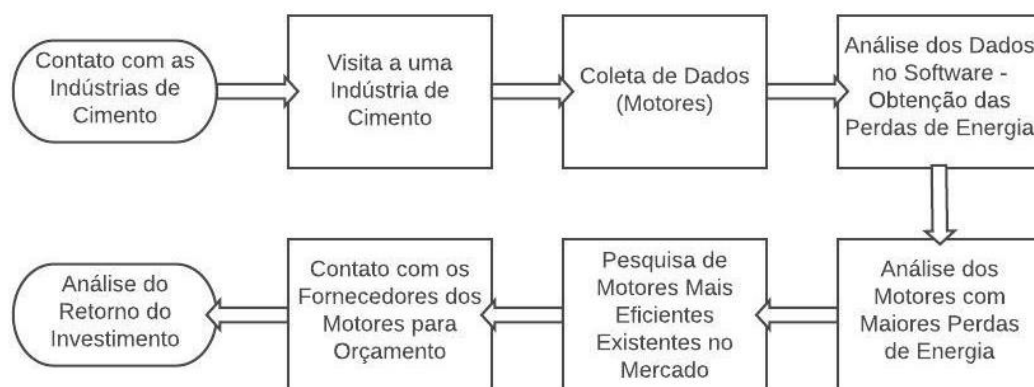
Softwares estão cada vez mais sendo utilizados para se estudar a eficiência energética industrial, dessa forma, é possível obter máquinas mais eficientes, reduzindo-se os custos de produção (BERNI, 2015). Por conseguinte, a Eletrobrás criou o Programa de Conservação de Energia Elétrica – Procel com o intuito de incentivar a conservação de energia nas indústrias nacionais, com a utilização de *softwares* diversos visando a otimização energética com a análise de dados. Com a necessidade de uma ferramenta capaz de agilizar os diagnósticos, o *software* Mark IV Plus foi desenvolvido (MOREIRA; QUELHAS; LAMEIRA, 2011).

O Mark IV Plus é um *software* usado para analisar a gestão energética de indústrias, em que são necessárias informações da instalação. O programa analisa os dados fornecidos e dá relatórios sobre o consumo energético fornecendo meios para se melhorar o desempenho. O *software* possui licença gratuita, sendo um programa de fácil acesso (PROCEL INFO, 2006).

3 METODOLOGIA

As etapas para o desenvolvimento da metodologia do seguinte estudo de caso foram realizadas conforme o fluxograma apresentado na figura 1.

Figura 1: Fluxograma das Etapas do Desenvolvimento da Metodologia.



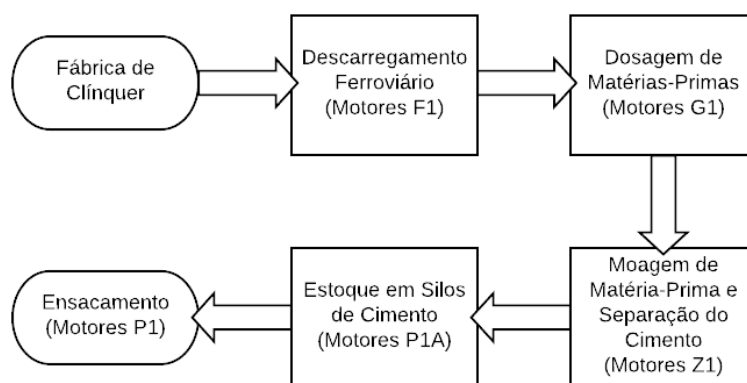
Fonte: Autoria Própria (2019).

O estudo de caso iniciou-se com a pesquisa de indústrias que fabricam cimento Portland, realizando o contato com pessoas da área para visita em fábrica e fornecimento de dados dos motores dos equipamentos. Com isso, foi realizada uma visita em uma fábrica de cimentos em Sorocaba no estado de São Paulo, em que foi possível visualizar todas as etapas

de fabricação do cimento. Todavia, os dados obtidos para análise foram de uma indústria em Fortaleza no estado do Ceará, que conta com as etapas de produção desde o descarregamento ferroviário até o ensacamento do cimento. A fábrica analisada produz além de cimento, diversos tipos de argamassas.

Na etapa seguinte foram analisados os dados dos motores através dos *softwares* Mark IV Plus. Os dados foram obtidos através de um funcionário da fábrica, que trabalha na área de manutenção técnica e elétrica, que forneceu uma planilha em Excel que continha todas as especificações de 65 motores utilizados na fabricação de cimento. A planilha apresentava a data de instalação do motor, o fabricante, o modelo, a carcaça, a forma construtiva, a potência, a rotação, o número de polos, a frequência, o fator de serviço, o tipo de motor (sendo que todos eram de rotor de gaiola), o regime de serviço, o rendimento, os mancais, o fator de potência, o grau de proteção, a classe de isolamento, o sistema de refrigeração, o peso e as dimensões do motor, com imagens ilustrativas. Os motores analisados eram relacionados aos processos de: descarregamento de clínquer na unidade da fábrica (motores F1), dosagem de matérias-primas (motores G1), moagem de matéria-prima e separação do cimento (motores Z1), estocagem em silos de cimento (motores P1A) e ensacamento (motores P1), conforme apresenta a figura 2.

Figura 2 - Etapas dos Processos de Fabricação de Cimento dos Motores Analisados.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Por meio do *software* Mark IV Plus foram analisados os motores da fábrica de cimento. Foi necessária a introdução dos seguintes dados no *software*: corrente nominal, potência nominal, unidade da potência, fases, rotação, fator de serviço, rendimento, fator de potência e tipo de carga. Após colocar todos os dados no programa, o mesmo fez uma análise das condições dos motores, fornecendo as perdas de energia de cada um.

Em seguida, realizou-se uma análise dos resultados obtidos por meio do *software*, que forneceu as perdas de energia de cada motor, e posteriormente, analisou-se quais desses

equipamentos poderiam ser substituídos para melhor satisfazer as questões energéticas e ambientais, buscando motores mais novos e modernos existentes no mercado para a comparação de dados. Por meio desses valores, foi possível analisar se as condições dos motores estavam adequadas e se existe no mercado algum motor mais eficiente, com melhor desempenho e que possua menor perda de energia. Os motores analisados são de três marcas diferentes, além de serem utilizados pela fábrica desde 2009. Por meio dos sites dos motores da WEG, SEW e Voges, foram encontrados motores disponíveis atualmente no mercado, juntamente com os dados destes. Com isso, foram analisados os motores que poderiam substituir os utilizados pela fábrica.

Posteriormente, o contato com alguns fornecedores dos motores das marcas apresentadas foi realizado, para obter o orçamento dos motores substitutos. Somente a marca WEG enviou um orçamento. Com o preço de cada motor, estudou-se o tempo de retorno do investimento, analisando a economia energética anual. Um valor médio anual da energia elétrica foi pesquisado, com isso um gráfico de comparação entre os motores foi criado, com o valor em reais gasto anualmente com perdas de energia, multiplicando-se o preço do kwh pela perda de energia de cada motor. Dessa forma, observou-se a economia energética anual em reais e calculou-se a relação do preço do motor por essa economia, obtendo-se assim, o tempo de retorno do investimento. Por fim, foi analisado o tempo de retorno de cada motor e quais foram os que apresentaram resultados mais interessantes para a troca.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os motores utilizados pela fábrica de cimento analisada são antigos, foram instalados em 2009 e operam por cerca de 490 horas por mês. Atualmente existem motores mais modernos das marcas utilizadas, em que a eficiência energética foi aprimorada. Foi possível comparar os motores antigos com os motores novos presentes no mercado. Foram-se analisados 65 motores no total, entretanto foram apenas levados em consideração os motores atuais que, através da análise em *software*, apresentaram perdas totais de energia acima de 900W. Alguns dos motores apresentaram perdas de energia baixas, em uma faixa de 100W a 300W. Com isso, foi optado por uma análise mais detalhada dos 20 motores com perdas mais altas. A Tabela 1 apresenta dados de 20 motores atuais e a comparação com seus respectivos substitutos, apresentando a perda de energia de cada um, totalizando 40 motores, sendo que todos possuem uma tensão de 440V.

Tabela 1 – Comparação dos motores atuais utilizados pela indústria de cimento e de motores mais novos das marcas utilizadas.

Nomenclatura	Corrente Nom. (A)	Pot. Nom. (cv)	Rotação (rpm)	Fator de Serviço	Rendimento (%)	Fator de Potência	Perdas Totais (W)	Marca
M-1A*	61	50	1770	1,15	92,5	0,86	2998	WEG
M-1S*	61,1	50	1775	1,25	94,6	0,84	2098	WEG
M-2A	39	30	1770	1,2	91	0,81	2174	SEW
M-2S	42	30	1770	1,25	92,8	0,86	1706	SEW
M-3A	73	60	1780	1,15	93,2	0,86	3218	WEG
M-3S	73	60	1780	1,25	95,1	0,85	2272	WEG
M-4A	37,3	30	1175	1,15	91,1	0,85	2148	WEG
M-4S	38,1	30	1180	1,25	93,6	0,81	1503	WEG
M-5A	28,2	20	1170	1,15	89	0,78	1853	WEG
M-5S	26,7	20	1175	1,25	92,2	0,8	1244	WEG
M-6A	27	20	1750	1,2	89,5	0,83	1759	SEW
M-6S	38,5	25	1773	1,25	93,6	0,78	1264	SEW
M-7A	13,3	10	1750	1,2	87,5	0,84	1071	SEW
M-7S	15	10	1745	1,25	91,2	0,85	669	SEW
M-8A	18,8	15	1755	1,15	91,7	0,84	995	WEG
M-8S	18,8	15	1760	1,25	92,4	0,83	907	WEG
M-9A	13,3	10	1750	1,2	87,5	0,84	1071	SEW
M-9S	15	10	1745	1,25	91,2	0,85	669	SEW
M-10A	85,8	75	3570	1,15	93,5	0,9	3821	WEG
M-10S	86,1	75	3565	1,25	94,2	0,89	3147	WEG
M-11A	87	75	1775	1,15	94,2	0,88	3384	WEG
M-11S	87	75	1780	1,25	95,4	0,87	2658	WEG
M-12A	18,5	15	3520	1,15	88,7	0,88	1400	WEG
M-12S	17,7	15	3525	1,25	91,5	0,89	1024	WEG
M-13A	19,9	15	1770	1	91	0,79	1087	SEW
M-13S	22,5	15	1765	1,25	91,7	0,82	995	SEW
M-14A	16	12,5	1760	1,15	91	0,83	909	WEG
M-14S	15,6	12,5	1765	1,25	92,4	0,84	756	WEG
M-15A	2,7	15	1135	1,15	75	0,72	3664	Voges
M-15S	24	15	1175	1,15	91	0,76	1087	Voges
M-16A	18,5	15	3520	1,15	88	0,88	1499	WEG
M-16S	17,7	15	3525	1,25	91,5	0,89	1024	WEG
M-17A	37	30	1760	1,15	93	0,81	1655	WEG
M-17S	37,9	30	1770	1,25	94	0,81	1407	WEG

Tabela 1 – Comparação dos motores atuais utilizados pela indústria de cimento e de motores mais novos das marcas utilizadas (continuação).

Nomenclatura	Corrente Nom. (A)	Pot. Nom. (cv)	Rotação (rpm)	Fator de Serviço	Rendimento (%)	Fator de Potência	Perdas Totais (W)	Marca
M-18A	61,5	50	1770	1,15	93,2	0,81	2698	WEG
M-18S	62,8	50	1780	1,25	95,4	0,81	1772	WEG
M-19A	18,5	20	3520	1,15	88,7	0,7	1910	WEG
M-19S	24,5	20	3540	1,25	92,2	0,87	1244	WEG
M-20A	15,2	10	1160	1,15	86,3	0,7	1190	WEG
M-20S	14,8	10	1165	1,25	91	0,73	727	WEG

Fonte: Autoria Própria (2019).

*A representa os motores instalados atualmente e *S os motores sugeridos para substituição.

A linha de motores W22 da WEG busca aumentar a eficiência energética, combatendo o desperdício, aumentando assim a oferta de energia. Os princípios destes motores foram a diminuição dos níveis de ruído e vibração, a otimização da eficiência energética e térmica, melhorias na manutenção, a maleabilidade da modularidade e o uso de inversores de frequência. A linha W22 fornece um rendimento constante entre 75% e 100% de carga nominal, com isso, mesmo que o motor não opere em carga nominal, a variação do rendimento será muito pequena, garantindo níveis elevados de eficiência energética e custos de operação reduzidos. Existem três versões desta linha, sendo elas: IR2, IR3 Premium e IR4 Super Premium. Os motores da WEG seguem a lei de eficiência energética Portaria MME/MCT/MDIC nº 553 de 08 de dezembro de 2005, em que níveis de rendimentos são previamente estabelecidos de acordo com a sua potência. A WEG supera os valores mínimos estabelecidos pela lei, o que demonstra a eficiência em seus motores elétricos (WEG S.A., 2019).

Os motores W22 na versão IR3 Premium possuem maiores eficiências energéticas e maiores possibilidades de utilização. Por meio da análise de dados, tais motores foram os que apresentaram maior redução de perda de energia se comparados com os motores antigos da fábrica de cimento. Os motores IR3 Premium possuem um diferencial, sendo um aumento no fator de serviço para 1,25, ou seja, uma reserva de 25% de potência em seus motores (WEG S.A.). O fator de serviço é um multiplicador utilizado junto a potência nominal que representa a sobrecarga que pode ser aplicada em um motor em determinadas condições, sendo que esse fator está relacionado diretamente com a vida útil do mesmo (ESCOLA TÉCNICA ELECTRA, 2019). Além disso, a empresa WEG possui uma política de investimento, em que a mesma recebe motores antigos como parte do pagamento para os novos motores, o que incentiva a troca, uma vez que os motores novos reduzirão custos e aumentarão a eficiência da produção (WEG S.A., 2019).

A Voges motores possui uma linha de motores elétricos trifásicos chamada VTop. Tais motores foram projetados visando a eficiência energética, com melhorias no desempenho elétrico e mecânico. Os motores VTop podem ser aplicados em diversas áreas, como em máquinas agrícolas, máquinas operatrizes, e em indústrias químicas, petroquímicas, de extração vegetal e mineral, siderúrgica, madeireira, cimenteira, indústria mecânica em geral, entre outros (GRUPO VOGES, 2019).

A SEW é uma empresa alemã que produz diversos motores elétricos, com uma linha completa para diversos usos. Seus motores são compactos e possuem segurança a longo prazo, além de serem de alto rendimento, reduzindo custos de operação. A SEW foi a primeira empresa a utilizar a tecnologia de fundição em molde de cobre nas produções de seus motores (SEW-EURODRIVE BRASIL, 2019).

Por meio da análise de dados do seguinte estudo de caso, foi possível encontrar no mercado motores, das três marcas analisadas, mais eficientes do que os utilizados na fábrica, em que se teve uma redução na perda de energia dos equipamentos. Todos os motores substitutos encontrados no mercado atualmente possuem rendimento maior que os motores utilizados pela fábrica desde 2009. Isso demonstra que os motores novos apresentam maior eficiência energética, uma vez que o rendimento é a relação entre a potência útil e a potência total. Quanto mais próximo de 1 for o rendimento, maior a eficiência energética do motor, já que a potência útil está mais próxima da potência introduzida no motor.

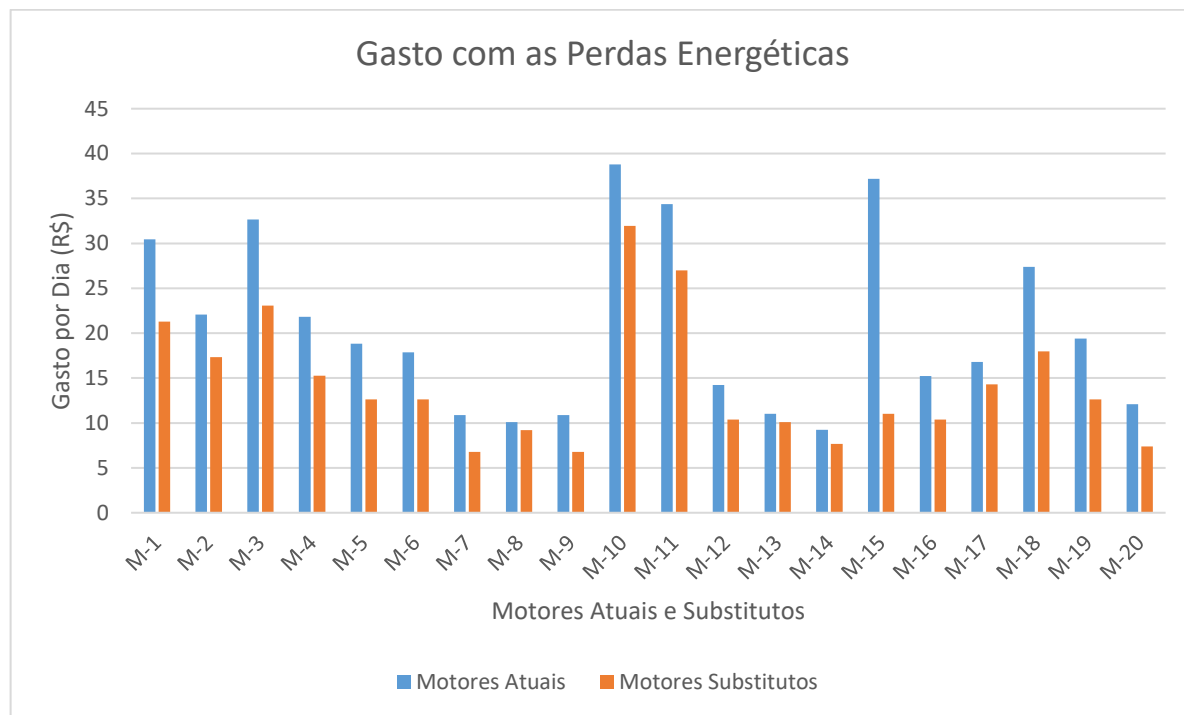
De acordo com Agostinho et al. (2017), as perdas de energia ocorrem por quatro meios, sendo elas as perdas Joule no estator, perdas Joule no rotor, perdas no ferro e perdas mecânicas por atrito e ventilação. Os motores de alto rendimento possuem melhorias nos pontos em que ocorrem as maiores perdas de energia, como uma maior quantidade de cobre nos enrolamentos do estator, a utilização de chapas magnéticas, a redução da intensidade de campo magnético, a utilização de rolamentos apropriados, a otimização da ventilação e do isolamento térmico dos motores, entre outros. Tais melhorias podem reduzir até 30% das perdas de energia.

Conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a tarifa média por kwh em 2018 foi de R\$ 0,564. Com esse valor, foi calculado o valor em reais gasto por dia devido as perdas totais de cada motor, sendo que os motores ficam ligados 18 horas por dia. O Gráfico 1 mostra a comparação dos motores atuais com os motores substitutos.

O motor substituto M-15 foi o que apresentou a maior variação de gastos em reais por dia, economizando diariamente R\$26,20 com energia elétrica. Os motores M-1, M-3, e M-18 economizam entre R\$9,00 e R\$10,00 de energia elétrica por dia. Os motores substitutos M-4, M-5, M-6, M-10, M-11 e M-19 apresentaram uma economia, em relação aos motores atuais,

entre R\$5,00 e R\$7,50 diariamente. Os motores M-2, M-7, M-9, M-12, M-16, M-17, M-20 apresentaram economia diária entre R\$2,55 e R\$4,80. Os motores M-8, M-13, M-14 foram os que apresentaram menor economia diária de energia elétrica, entre R\$0,89 e R\$1,56.

Gráfico 1 – Gasto com as Perdas Energéticas dos Motores Atuais e Substitutos, em Reais.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Foi realizado um orçamento, em maio de 2019, com uma distribuidora de motores da WEG em Campinas e o gasto com a troca dos 14 motores WEG analisados custaria em torno de R\$161.400,00. Todavia, existem alguns programas de trocas, que dão descontos na compra de novos motores em troca dos motores antigos. Tais descontos podem chegar até 40%, como é o caso do programa Bônus Motor da CELESC. O programa tem uma parceria com a WEG, e teve a iniciativa da ANEEL, visando aumentar a eficiência energética dos motores, reduzindo o desperdício de energia em diversas indústrias, órgãos públicos e no setor rural (WEG S.A, 2019).

Outro programa de troca foi desenvolvido pelo Procobre (Instituto Brasileiro do Cobre), também com parceria com a WEG, em que foi reunido um site para troca de motores usados por motores mais eficientes com todas as informações de concessionárias distribuidoras de energia que fornecem descontos, que podem chegar até 40%, para troca de motores, englobando diversos estados como São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. O programa de benefícios é simples e exige somente que a empresa entre em contato com a concessionária de energia e forneça a descrição dos motores que serão trocados. Uma vez que a distribuidora de energia aprove a troca, a empresa pode adquirir o novo motor mais eficiente e enviar o motor antigo para um local de descarte, posteriormente, a concessionária

devolve 40% do investimento realizado para compra dos motores (COPPER ALLIANCE, 2019).

A Elektro, empresa do grupo Neoenergia, é uma concessionária que oferece bônus para as indústrias trocarem seus motores, com o programa Bônus para Motores Eficientes. Todavia, é preciso realizar uma inscrição e aguardar a seleção das empresas. Após isso, será possível a substituição dos motores (ELEKTRO, 2019).

O Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) de São Caetano do Sul aderiu o programa da CELESC Bônus Motor, efetuando a troca de 13 motores de suas estações elevatórias de água tratada e de água bruta. A economia com a aquisição dos motores foi de R\$ 43.700,00 devido ao programa. Além disso, houve uma economia na fatura de energia elétrica em torno de R\$ 10.000,00 mensais, fazendo com que o SAMAE tivesse um retorno do valor investido com os motores em um período de 8 meses. A Fischer Agroindústria também aderiu ao programa, sendo a primeira empresa a receber os motores fornecidos pelo programa Bônus Motor. Com a substituição de 185 motores, a empresa economizou cerca de 6,5% de energia elétrica durante um ano, e obterá o retorno do valor investido em 4 anos, sendo que a mesma recebeu os novos motores no final de 2018 (WEG S.A., 2019). O programa da CELESC até maio de 2018 já havia trocado mais de 700 motores elétricos em 38 empresas, resultando em uma economia de 5.975MWh por ano, o que equivale a 2.500 residências consumindo energia em um ano (CANAL ENERGIA, 2018).

Neste estudo de caso, com a análise dos motores utilizados pela fábrica de cimento, foram observadas duas opções de troca dos motores consideradas vantajosas para a indústria.

A primeira opção de troca seria a de todos os motores WEG analisados por esta pesquisa de campo, conforme o Gráfico 1. Levando em conta um desconto de 40% na compra dos 14 motores da WEG, o custo total de R\$161.400,00 seria reduzido para R\$96.840,00. A fábrica de cimento permanece com seus motores ligados por aproximadamente 490 horas por mês, sendo assim, o gasto energético anual com as perdas de energia dos motores atuais da WEG é de aproximadamente R\$30.000,00. A indústria iria receber um retorno do valor investido nos motores em aproximadamente 3 anos e meio, sendo que durante esse período seria possível observar a redução do consumo de energia elétrica e a redução dos custos operacionais, o que geraria um aumento na atividade produtiva. Portanto, com um aumento na produtividade, a indústria produziria mais sacos de cimento, o que aumentaria o seu lucro.

Outra alternativa é a troca dos motores da WEG que, de acordo com o Gráfico 1, apresentam a maior redução de gasto com perda energética. A segunda opção seria a troca dos motores M-1, M-5, M-12, M-16, M-18, M-19 e M-20, que foram os que apresentaram os

menores tempos de retorno do valor investido, ou seja, a sua troca levaria a uma economia maior em energia elétrica. Estes motores custariam em torno de R\$35.000,00 considerando um desconto de 40% conforme o orçamento realizado em maio de 2019. No período de um ano se economizaria aproximadamente R\$14.650,00 e o retorno do investimento seria próximo de 2 anos.

Os motores substitutos de M-3, M-4, M-10 e M-11 apresentaram individualmente uma economia de energia elétrica anual maior que R\$2.000,00. Entretanto, esses motores apresentaram um custo mais elevado, sendo que preço de cada um supera o valor de R\$9.000,00, de acordo com o orçamento realizado em maio de 2019. O motor M-8 possui uma redução de custo muito baixa, de apenas R\$0,89 por mês, sendo assim, não seria tão interessante para a fábrica a sua troca, uma vez que o motor substituto, conforme o orçamento de maio de 2019, custaria aproximadamente R\$2.700,00 com um desconto de 40% e o tempo de retorno do valor investido superaria 9 anos. Analisando os motores M-14 e M-17 observou-se que a economia de energia elétrica anual seria de R\$500,00 e R\$820,00 respectivamente. Os motores substitutos de ambos custariam respectivamente, considerando um desconto de 40%, R\$2500,00 e R\$6.100,00, conforme o orçamento realizado em maio de 2019. O retorno financeiro de ambos ocorreria em mais de 5 anos. Com isso, as trocas destes motores foram analisadas como menos vantajosas quando comparadas com as outras apresentadas.

Realizou-se o contato com alguns distribuidores dos motores da SEW e da Voges para um orçamento destes, entretanto não foi obtido um retorno. Com isso, não foi possível analisar o tempo de retorno do investimento com tais motores. Entretanto, com a troca dos motores M-2, M-6, M-7, M-9 e M-13 da SEW, a economia anual seria de aproximadamente R\$6.232,00 com energia elétrica. Já com a troca do motor da Voges uma economia anual de quase R\$8.600,00.

A substituição dos motores utilizados atualmente pela fábrica de cimento seria interessante no quesito financeiro, já que a empresa economizaria uma boa quantia anualmente com energia elétrica e receberia o retorno do investimento em torno de 3 anos, dependendo da escolha dos motores a serem trocados.

Conforme Mahla (2009), o que mais reduz a eficiência energética de motores são as rebobinações feitas para que o mesmo volte a funcionar após algum curto-circuito, problemas com isolamento ou nas bobinas. O rebobinamento causa deteriorização do motor e afeta no seu fator de carga. Mahla (2009) realizou um estudo da substituição de alguns motores de uma mineradora de cobre no Chile e constatou que a troca dos motores era viável, já que os mesmos tiveram um aumento médio de aproximadamente 5% de eficiência energética, com *payback* em torno de 2 a 3 anos.

Por meio de um diagnóstico energético de uma fábrica de tecidos, Agostinho et al. (2017) analisou a viabilidade de troca dos motores utilizados pela fábrica e que foram fabricados entre 1970 e 1990. Foi observado que os teares possuíam motores antigos, que passavam somente por manutenções corretivas. Com as manutenções, parte das propriedades do motor são perdidas, como no ferro, rotor e estator, reduzindo-se assim, o rendimento. Os motores utilizados por tal fábrica ultrapassaram sua vida útil e apresentavam baixo rendimento e fator de potência, além de serem superdimensionados, já que na época em que foram fabricados não existia a tecnologia de hoje em dia. Através de uma comparação dos motores antigos e dos atuais, pode-se observar que os motores novos possuem dimensões reduzidas, são mais leves, eficientes e produzidos com materiais mais resistentes.

Agostinho et al. (2017) analisou que, com a troca de um motor da fábrica de tecidos, se economizaria cerca de R\$180,00 por mês com energia elétrica. Além disso, o valor investido no motor seria recuperado em aproximadamente um ano e quatro meses, sendo que o motor custava em torno de R\$2900,00. Com a troca de outro motor, seria economizado cerca de R\$140,00 por mês em energia elétrica e o valor investido seria recuperado em um ano e três meses, com o motor custando R\$2000,00. Foi constatado por Agostinho et al. (2017) que a troca dos motores era viável por apresentar ganhos de produtividade à empresa e por ter um rápido retorno do investimento, reduzindo-se desperdícios de energia e atualizando o maquinário da fábrica. Além disso, a redução do consumo energético é essencial para o desenvolvimento sustentável, o Brasil depende de usinas hidrelétricas para o fornecimento de energia elétrica, caso o país sofra uma crise hídrica, a geração de energia será comprometida, afetando principalmente as grandes empresas, que são as que mais necessitam de energia, e que, segundo Bortoni (2006), têm 55% de energia consumida por motores.

O impacto ambiental para construir uma hidrelétrica é grande, já que parte do habitat de alguns animais é destruído, aumentando a probabilidade de extinção dos mesmos. As mudanças do curso de água para a construção de uma usina hidrelétrica afetam esses animais e inundam áreas ao redor, o que afeta também as pessoas que vivem no local, que precisam recomeçar suas vidas em outra região. O rio a jusante das usinas sofre diversas modificações, como a perda de espécies de peixes. Tal fato afeta a população ribeirinha, que muitas vezes têm sua renda através da pesca.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa de campo revelou que existem algumas dificuldades para a análise de eficiência energética. Muitas indústrias não acreditam que a eficiência energética é algo que traz benefícios e optam por não investir neste setor. Foi realizado o contato com duas

indústrias de cimento, e uma delas optou por não fornecer os dados para a realização do estudo energético dos equipamentos, o que demonstra uma barreira. Além disso, por meio do referencial bibliográfico observou-se que no Brasil a utilização de *softwares* para a gestão energética é incomum e que falta a conscientização das empresas. Alguns países desenvolvidos possuem *softwares* de otimização de equipamentos muito bem elaborados e com mais recursos de análise, como é o caso do programa RETScreen do Canadá. Entretanto, não foi possível a utilização deste programa na presente pesquisa, já que este requeria dados que não foram possíveis de obter, dado que a indústria de cimento não possuía estas informações.

Foram encontrados diversos incentivos de concessionárias de distribuição de energia em todo o país. Entretanto, esses editais poderiam possuir uma divulgação maior, para que assim, houvesse a conscientização das empresas para a troca de seus motores por equipamentos mais eficientes e sustentáveis.

Foi constatado que a substituição de motores utilizados por uma fábrica de cimento desde 2009 é viável, já que reduz desperdícios de energia elétrica, com a diminuição das perdas de energia por meio da utilização de motores de alto rendimento, que possuem melhorias em sua fabricação se comparados aos motores mais antigos. A substituição dos motores da WEG M-1, M-5, M-12, M-16, M-18, M-19 e M-20 apresentou-se a mais interessante, já que o tempo de retorno do investimento seria de 2 anos e a economia energética chegaria a R\$14.650,00. Apesar da dificuldade em se obter um orçamento dos motores da SEW e da Voges para analisar o tempo de retorno do investimento, pelo *software* observou-se que os motores destas marcas foram otimizados, tendo em vista a redução da quantidade de energia útil perdida, principalmente do motor M-15, que levaria a empresa a economizar cerca de R\$8.600,00 anualmente.

Dessa forma, os objetivos da pesquisa foram atingidos, sendo que foram coletados dados de motores de uma fábrica de cimento, estes foram analisados e por fim, foi proposta a substituição destes por motores de alto rendimento, que são mais eficientes e possuem uma perda menor de energia útil. Concluiu-se com a presente pesquisa que aumentar a eficiência energética das indústrias reduz impactos ambientais, já que economiza energia elétrica, ajudando no abastecimento de outros setores e contribuindo para que não seja necessário a construção de novas usinas de fornecimento de energia, visto que as mesmas geram impactos ambientais e sociais. As indústrias, não só do setor cimentício, são as que mais consomem energia elétrica, o que leva a necessidade de otimizações dos equipamentos das fábricas.

6 REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, Fábio Ribeiro; ROCCA, Graciela Alessandra Della; FERREIRA, Fernanda Cristina Silva; STEFENON, Stéfano Frizzo. *Estudo Sobre a Viabilidade Financeira na Atualização Tecnológica de uma Planta Fabril: Utilização de Motores Elétricos de Alta Eficiência e Iluminação LED*. Revista Espacios, v. 38, n. 12, p. 5-17, 2017.

AMARAL, Cassandra Naiff do. *Análise de Eficiência Energética de um Sistema de Abastecimento de Água de uma Indústria Cimenteira*. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Comunicação e Automação - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, RN, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. *Guia Básico da Utilização do Cimento Portland*. São Paulo, 2002.

BARROS, Regiane Silva de. *Caracterização do Uso de Energia Elétrica em Empresas do Segmento Metalúrgico e Perspectivas de Ganhos de Eficiência em sua Utilização*. Dissertação de Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP, 2011.

BERNI, Mauro Donizeti. *Ferramentas Computacionais Para Eficiência Energética Industrial*. Revista O Papel, 2015.

BORTONI, E. C.; NOGUEIRA, L. A.H.; CARDOSO, R.B.; HADDAD, J.; SOUZA, E. P.; DIAS, M. V. X.; YAMACHITA, R. A. *Assessment of the achieved savings from induction motors energy efficiency labeling in Brazil*. Energy Conversion and Management, v. 75, nov. 2013.

BRASIL. Lei no 10.925, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 out. 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm>. Acesso em: 30 jun. 2019.

BRASIL. Portaria Interministerial no 553, de 8 de dezembro de 2005. Estabelece os níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética. Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF, 12 dez. 2004. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139097/Portaria_Interministerial_nx_553_2005.pdf/010f203c-195e-4e12-b31d-6a1f00e226e0>. Acesso em: 30 jun. 2019.

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. *Mineral Profile: Cement Raw Materials*. Natural Environmental Research Council. Nottingham, Reino Unido, nov. 2005.

CAMIOTO, Flávia de Castro; REBELATTO, Daisy. *Avaliação de Estratégias Para Reduzir a Emissão de CO2 Por Meio da Alteração da Matriz Energética do Setor de Cimento*. Revista Brasileira de Energia, v. 21, 2015.

CANAL ENERGIA. *Projeto da Celesc Substituiu mais de 700 Motores Elétricos em SC*. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53062335/projeto-da-celesc-substituiu-mais-de-700-motores-eletricos-em-sc>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

COPPER ALLIANCE. *Site Criado em Parceria com a WEG Incentiva Troca de Motores Elétricos*. Disponível em: <<https://www.procobre.org/pt/noticias/site-criado-em-parceria-com-a-weg-incentiva-troca-de-motores-eletricos/>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

ELEKTRO. *Elektro Oferece Bônus Para Indústrias na Troca de Motores Mais Eficientes*. Disponível em: <<https://www.elektro.com.br/noticias/03/28/2018/elektro-oferece-bonus-para-industrias-na-troca-de-motores-mais-eficiente>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

ESCOLA TÉCNICA ELECTRA. *Instalações Elétricas III*. Rio de Janeiro, RJ, 2013.

GARCIA, Agenor Gomes Pinto. *Impacto da Lei de Eficiência Energética para Motores Elétricos no Potencial de Conservação de Energia na Indústria*. Tese de Mestrado Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

GRUPO VOGES. *Base de Dados*: acesso online. São Paulo, SP, 2019. Disponível em: <<http://200.185.193.149/catalogo/>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

LIMA, André Barbosa de. *O Processo Produtivo do Cimento Portland*. Monografia (Especialização em Engenharia de Recursos Minerais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2011.

MAHLA, Ingeborg. *Projeto Piloto de Substituição de Motores Elétricos na Mineração de Cobre – Chile*. Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade de Santiago do Chile, 2009.

MOREIRA, D; QUELHAS, O. L. G; LAMEIRA, V.J. *A Utilização de Recursos Computacionais para Aprimoramento da Melhoria do Desempenho em Eficiência Energética na Construção Civil Brasileira*. São Paulo, SP, 2011.

NETO, Mario Mollo. *Análise dos Movimentos de Inovação Tecnológica e Regulamentação Aplicada a Motores Elétricos para Melhoria da Eficiência Energética no Brasil*. Revista Engenho, Centro Universitário Padre Anchieta, Jundiaí, SP, 2007.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança; CRIVELARO, Marcos. *Materiais de Construção*. 2 ed. São Paulo: Érica, 2016.

PROCEL INFO. *Mark IV Plus*. Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BA6340DFB-8A42-41FC->

A79D-B43A839B00E9%7D&Team=¶ms=itemID=%7B456B0D4F-1F03-4551-819E-763FEF71386B%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>.

Acesso em: 02 mar. 2018.

RIBEIRO, Fernando Cássio; NEVES, Rodrigo Augusto; NOGUEIRA, Luiz Roberto. *Eficiência Energética*. FEAU/UNIVAP, Jacareí, SP, 2007.

SANTOS, Eduardo Aparecido Franco José dos; LIMA, Erivaldo Evaristo de; EVARISTO, Jader Willian; RIEGER, Marcelo Mateus. *Princípio de Funcionamento de Motores de Indução Trifásicos*. Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop, MT, 2016.

SEW-EURODRIVE Brasil Súddeutsche-Elektromotoren-Werke. *Base de Dados*: acesso online. Indaiatuba, SP, 2019. Disponível em: <<http://br.sew-eurodrive.com/produto/index.php>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

SILVA, Rafael Rodrigues da. *Modelos para Análises de Sistemas Energéticos Industriais Aplicados a Estudos de Eficiência Energética*. Dissertação de Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, SP, 2013.

TOLENTINO, Nathalia Motta de Carvalho. *Processos Químicos Industriais: Matérias-Primas, Técnicas de Produção e Métodos de Controle de Corrosão*. 1 ed. São Paulo: Érica, 2015.

TOSTA, Lucas Irineu; SOUZA, Ana Carla de; SILVA, Rogério José da. *Gestão da Energia na Produção de Cimento Portland com Uso de Mineralizadores e Combustíveis Alternativos*. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP. Foz do Iguaçu, PR, 2007.

WEG S.A. *Base de Dados*: acesso online. Jaguará do Sul, SC, 2019. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-El%C3%A9tricos/c/BR_MT>. Acesso em: 10 jan. 2019.

YAMACHITA, Roberto Akira. *Determinação de Perdas e Rendimento em Motores Elétricos Empregando Termografia Infravermelha*. Tese de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, MG, 2013.

Contatos: laracarolineramos@hotmail.com e gomes.mtms@gmail.com