

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

MARINA FÉLIX ALVES PEREIRA

**OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA POR MEIO DE ADEQUAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ
EM GRANJA DE GALINHAS POEDEIRAS**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2019**

MARINA FÉLIX ALVES PEREIRA

**OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA POR MEIO DE ADEQUAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ
EM GRANJA DE GALINHAS POEDEIRAS**

**Relatório final, apresentado a
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências, para obtenção do
título de Engenheira Agrícola e Ambiental.**

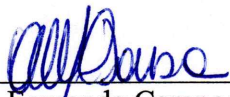
**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2019**

MARINA FELIX ALVES PEREIRA

**OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA POR MEIO DE ADEQUAÇÃO DE FORÇA
MOTRIZ EM GRANJA DE GALINHAS POEDEIRAS**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 04 de julho de 2019.



Profa.: Fernanda Campos de Sousa
(Membro)
(UFV)



Profa.: Flora Maria de Melo Villar
(Membro)
(UFV)



Prof.: José Marcio Costa
(Coorientador)
(UFV)



Prof.: Dely Oliveira Filho
(Orientador)
(UFV)

“We get it, we have to give!”

Julia Cannon

Sobre sempre compartilhar o conhecimento recebido
como forma de auxiliar no desenvolvimento do outro.

AGRADECIMENTOS

Poucas coisas na graduação nos fazem sentir como na realização de um trabalho de conclusão de curso.

Agradeço à força que habita em todos nós e que nos leva a viver os momentos certos com as pessoas certas, de forma a encontrar nosso lugar no mundo.

Ao meu orientador Delly, pelos momentos de “nossa, entendi tudo”. Tudo mesmo. Por ser tão envolvido em vários temas interessantes, transmitindo tudo isso à nós com muita alegria.

Ao professor Zé Márcio pelo conhecimento, pelas palavras e pela viagem engrandecedora que me fizeram entender melhor meu papel como engenheira.

Ao Pedro, que me ensinou que existe luz até no fim de um artigo científico.

Aos ArduHINOs, Daniel e Tamires. Sem eles eu não teria chegado até aqui.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Agrícola, que compartilharam seu conhecimento e se dedicaram em formar novos profissionais.

À equipe da Granja Santa e da Nutritiva, que nos receberam com tanto carinho.

À todos aqueles que contribuíram com essa etapa, agora concluída.

RESUMO

Devido à crescente demanda mundial por energia elétrica medidas de racionalização energética são cada vez mais importantes para o desenvolvimento sócio-econômico, pois podem reduzir expressivamente os gastos com eletricidade, liberando recursos para investimentos em outros fins. Além disso, essas medidas apresentam baixo custo a longo prazo. O uso de energia elétrica em força motriz corresponde a quase metade do consumo global de energia, e 69% do consumo industrial. Com o objetivo de racionalizar o uso de energia foi realizado um estudo de adequação de força motriz em três motores empregados em processos industriais em uma granja e fábrica de ração pertencentes ao grupo Berger. Foram analisados os índices de carregamento e rendimento dos motores para as condições de carga atualmente utilizadas. Foram propostas medidas de adequação com substituição de motores e maximização do número de horas de funcionamento. Com a adoção da metodologia, o potencial máximo de economia de energia encontrado seria de 18,7% (R\$ 866.610,11), havendo necessidade de alterações nos processos. Para aprimoramento dos processos recomenda-se gerenciamento de dados de panes, reparos e substituições de motores e peças.

Palavras-chave: Economia de energia. Eficiência energética. Índice de carregamento. Motores de indução trifásicos. Otimização energética. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Due to the increasing global electricity demand, energy rationalization measures are increasingly important for socioeconomic development, since they can significantly reduce electricity consumption, enabling resource reallocation. Besides, these measures are long term cost effective. The use of electricity in motor driven systems account for almost half of the global energy consumption. Industries account for 69% of global electricity demand. In order to rationalize electricity use, the purpose of this work was to propose energy adequacy methods by motor force adaptation in three electric motor-driven systems used in industrial processes in a feed factory and an aviary that belong Berger group. The load and engine performance indexes were analyzed for the currently used conditions. Adequacy measures proposed replacement of engines and maximization of the number of operating hours. With the adoption of the methodology, the maximum energy savings potential can be of 18.7% (R\$ 866.610,11), with the need for process modifications. To improve the companies' processes it is recommended to manage data of faults, repairs and replacements of motors and parts.

Keywords: Electricity savings. Energy efficiency. Motor force adaptation. Sustainability. Three-phase electric motors.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 9 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 11 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 12 |
| 3.1 | Granjas - Sistema de recolhimento de excrementos..... | 12 |
| 3.2 | Fábrica de ração - Sistemas de moagem e extrusão..... | 12 |
| 3.3 | Adequação de força motriz..... | 13 |
| 3.4 | Análise técnica..... | 14 |
| 3.5 | Análise de viabilidade econômica..... | 16 |
| 3.5.1 | Custos com consumo e demanda anual de energia..... | 16 |
| 3.5.2 | Fluxo de caixa..... | 17 |
| 3.5.3 | Valor presente..... | 18 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 20 |
| 4.1 | Substituição do motor em uso versus motor standard adequado à condição de carga..... | 20 |
| 4.2 | Substituição do motor em uso versus motor de alto rendimento (AR) na mesma condição de carga..... | 21 |
| 4.3 | Substituição do motor em uso versus motor de alto rendimento adequado à condição de carga | 22 |
| 4.4 | Substituição do motor em uso versus motor de alto rendimento adequado à condição de carga com número de horas anuais maximizado..... | 24 |
| 4.5 | Análise econômica..... | 26 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 29 |
| | REFERÊNCIAS..... | 30 |

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e a implementação de estratégias de eficiência energética em escala global vem se tornando cada vez mais urgentes, não somente por seu potencial de desenvolvimento econômico, mas também pelo seu impacto ambiental e social. Estima-se que até 2040, o valor agregado de cada unidade de energia consumida pela indústria pode dobrar (IEA, 2018).

Tais estratégias e políticas envolvem diretamente três dos dezessete objetivos de desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015). Esses objetivos, traçados em 2015 pelos países membros para a Agenda de 2030, visam mobilizar todos os setores da sociedade para eliminar a pobreza, combater desigualdades e mudanças climáticas. Quanto a energia limpa pretende-se aumentar a implementação de medidas em eficiência energética. Em relação a trabalho digno e crescimento econômico, é incentivada em escala global a melhoria da eficiência energética e ampliação da produtividade econômica por meio de inovações e melhorias tecnológicas, bem como melhorar a eficiência no consumo de recursos globais, desassociando crescimento econômico e degradação ambiental. Em relação à inovação e infraestruturas globais, é incentivado o aumento da empregabilidade das indústrias e a adoção de processos mais sustentáveis para tornar a industrialização inclusiva e sustentável (ONU, 2015).

O setor industrial é responsável por 69% do consumo global de energia elétrica, consumindo cerca de 4.488TWh/ano (IEA, 2011). De toda energia consumida nesse setor, cerca de 64% é utilizada em sistemas de motores elétricos, segundo estatísticas da Agência Internacional de Energia (IEA, 2011). Estima-se que entre 43% e 46% do consumo global de energia é destinado a esses sistemas, com emissão anual de 6.040 Mt de CO₂. Até 2030, caso não sejam implementadas medidas e políticas de eficiência energética em escala global, o consumo global será acrescido uma média de 13.360 TWh por ano, gerando 8.570 Mt de CO₂. Em contrapartida, se as práticas de eficiência energética forem adotadas no setor industrial em escala global, poderão ser economizados anualmente em média 322 TWh, evitando a emissão de 206 Mt de CO₂ (IEA, 2011). O resultado é um potencial de 32% de redução na emissão do gás em relação às projeções futuras.

A maior parcela consumidora de energia elétrica é atribuída a motores elétricos com potência nominal no intervalo de 0,75 kW a 375 kW. Dentre eles, os motores de indução de corrente alternada utilizados em aplicações industriais são os que mais consomem energia. As aplicações mais comuns consistem em realizar operações mecânicas por meio de compressores, bombas e ventiladores, que por sua vez possuem diversas sub aplicações (IEA, 2011).

Existe uma grande diferença percentual no rendimento nominal entre os diferentes motores presentes no mercado. Apesar de apresentarem maior custo de aquisição, os motores de alta eficiência com mais de 1.000 horas anuais de uso se tornam mais rentáveis do que qualquer outro no mercado em qualquer aplicação, pois seu gasto energético representa tipicamente cerca de 95% de todos os custos em seu ciclo de vida (IEA, 2011).

Otimizar o sistema de motores elétricos envolve assegurar correto dimensionamento dos motores, sistema de transmissão e equipamentos movidos (ventiladores, bombas, compressores, tratores, elevadores, etc.) garantindo maior eficiência energética do sistema. Essa busca por maior eficiência energética para executar o serviço desejado pode gerar uma economia de energia elétrica de até 30% (IEA, 2018). Nesse sentido, medidas relativamente simples de efficientização energética apresentam elevado potencial de beneficiar diversos setores da sociedade, e uma delas, a adequação de força motriz, será avaliada neste trabalho.

2 OBJETIVOS

Propor medidas de otimização do uso de energia elétrica por meio da análise de substituição de motores instalados e do aumento do número de horas de funcionamento em uma granja de galinhas poedeiras.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo para otimização no uso de energia elétrica teve como base as metodologias propostas por Oliveira Filho et al. (2004) e Lopes (2002). O local escolhido para estudo foi a Granja Santa Maria, pertencente ao grupo Berger, localizados no município de Santa Maria de Jetibá, Espírito Santo. Segundo dados do IBGE, o município de Santa Maria de Jetibá é o maior produtor de ovos do país, com produção diária de 12,4 milhões de ovos.

3.1 Sistema de recolhimento de excrementos - Granjas

O complexo de granjas possui 14 aviários com cinco baterias em cada um. Cada bateria, montada pela empresa Hellmann Poultry, possui seis andares com gaiolas e sistema mecanizado para fornecer água, alimento, coletar e conduzir ovos e retirar excrementos. Os excrementos são retirados através de esteiras instaladas em cada andar. Cada conjunto de três esteiras é movimentado por um motor de 1,5 cavalos. Esses motores, devido ao grande número instalado (210 unidades) serão analisados neste trabalho. Ao fim da bateria o excremento é conduzido a uma esteira subterrânea e transportado para a esterqueira, onde é degradado e transformado em adubo verde, a ser comercializado.

3.2 Fábrica de ração - Sistemas de moagem e extrusão

O grupo Berger possui duas fábricas de ração para comercialização e consumo próprio. De uma delas foram analisados os motores da extrusora e do moinho. Apesar de a fábrica ser equipada com apenas um motor para extrusão e um para moagem, estes correspondem aos de maior potência de todo o grupo, 250 cv (que corresponde a 184 kW) e 200 cavalos (147 cv), respectivamente. Por esse motivo, esses motores também serão analisados neste trabalho

3.3 Adequação de força motriz

O processo de adequação de força motriz envolve, para cada motor existente e para cada motor envolvido em uma possível troca, uma análise técnica e uma análise de viabilidade econômica. Portanto, será avaliado se a troca do motor existente trará benefícios para o processo no qual ele está envolvido e se essa troca é economicamente viável para o usuário.

Para a adequação de força motriz deve ser feita a avaliação do Índice de Carregamento (IC) e do rendimento do motor na condição de carga atual. O IC pode ser determinado por meio das curvas características dos motores (Campana et al, 2000), sob medição da corrente do estator. Além disso é importante avaliar o desbalanceamento entre tensões e se o motor já foi rebobinado, pois podem ocasionar redução em seu rendimento. Entretanto, não foi possível considerar efeitos do rebobinamento nem de reparos, pois esses dados não são gerados e catalogados na empresa.

As opções para adequação do uso de força motriz estudada foram:

- a) substituição do motor em uso por um motor standard adequado à condição atual de carga;
- b) substituição do motor em uso por um motor de alto rendimento na mesma condição de carga;
- c) substituição do motor em uso por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga.
- d) substituição do motor em uso por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga com maximização do número de horas de funcionamento.

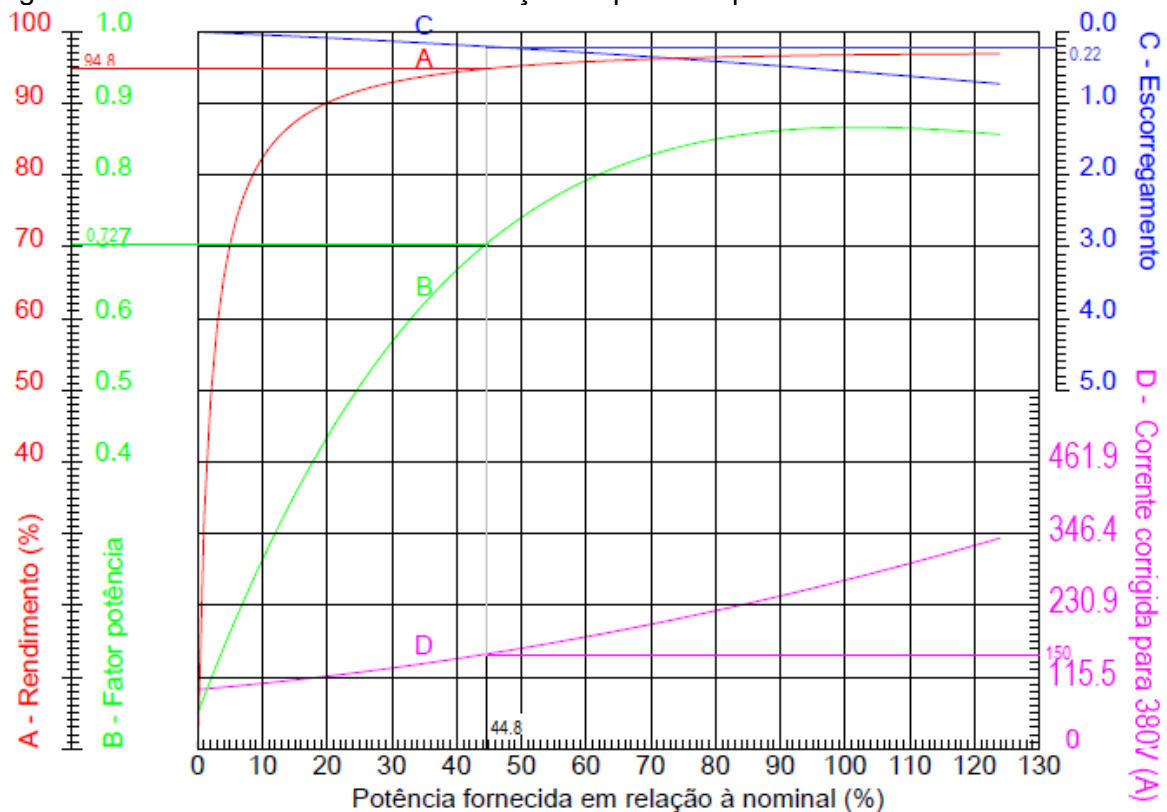
Para analisar cada situação potencial de substituição de motores foi realizada uma comparação do consumo e da demanda e dos investimentos em cada uma das opções no horizonte de planejamento. Os investimentos consistem no preço de cada uma das opções de motores em 2019. Foram considerados nos custos totais também o aumento no preço da energia elétrica acima da inflação e o juros anual. Por último, foi elaborada análise de sensibilidade com base na possível mudança no juros anual ou no aumento do preço da energia elétrica acima da inflação.

3.4 Análise técnica

Para a análise técnica de adequação de força motriz foi determinado do Índice de Carregamento (IC) de cada motor por meio de suas curvas características. Para isso, com o motor operando em plena carga foram medidas com alicate amperímetro as correntes de fase e calculada a média entre elas. A corrente média retorna um valor de IC na curva característica do motor. O IC representa a porcentagem do carregamento que está sendo solicitado em função da potência nominal.

As curvas obtidas por meio dos *sites* dos fabricantes dos motores analisados fornecem dados de correntes para o motor ligado em 220V. Entretanto, esses motores podem ser ligados em dois níveis de tensão. Na empresa, são ligados em 380V, assim, foi necessário corrigir as correntes, dividindo-as por raiz de 3. Os ICs foram obtidos graficamente utilizando a corrente média, como mostra exemplo na Figura 7, com IC igual a 44.8% para o caso do motor da extrusora, de 200 cv.

Figura 7 - Curvas características em função da potência para o motor de 200 cv



Fonte: Adaptado de WEG, 2019.

Uma vez determinado o IC os valores de rendimento, fator de potência e escorregamento do motor são obtidos por meio das curvas pertencentes a cada motor.

Quanto mais próximo de 100% for o IC mais próximo o motor em uso está das suas condições nominais de funcionamento.

Para avaliar qual é o motor ideal para cada condição de carga é necessário, utilizando o dado do IC e da potência nominal do motor, calcular a potência mecânica atual por meio da Equação 1:

$$P_a = P_n \times IC \quad (1)$$

em que,

P_a - potência mecânica adequada do motor, cv;

P_n - potência nominal do motor, cv;

IC - índice de carregamento do motor, decimal;

A potência mecânica encontrada, que corresponde ao uso do motor na condição de carga atual, deve ser igual ou imediatamente inferior à potência nominal disponível no mercado.

Caso o valor da potência mecânica encontrado seja inferior à potência nominal do motor adequado a condição de carga, o IC real deverá ser calculado por meio da Equação 2.

$$IC_R = \frac{P_N \times IC}{P_c} \quad (2)$$

em que,

IC_R - índice de carregamento real obtido com adequação de força motriz, %;

P_N - potência nominal do motor analisado, cv;

IC - índice de carregamento do motor analisado, %;

P_c - potência nominal do motor adequado à condição de carga, cv.

O potencial de economia com a melhoria no rendimento entre duas opções de motores elétricos x_I e x_{II} pode ser estimado pela Equação 3:

$$\Delta\eta = \frac{1}{\eta_I} - \frac{1}{\eta_{II}} \quad (3)$$

em que,

$\Delta\eta$ - potencial de economia de energia, %;

η_I - Rendimento do motor I, %;

η_{II} - Rendimento do motor II, %.

3.5 Análise de viabilidade econômica

Para análise econômica em cada possibilidade de troca de motor foram analisados os seguintes dados de entrada: número de horas de funcionamento anual; vida útil estimada (fornecida pela empresa); taxa de juros; aumento no preço da energia acima da inflação; preço do consumo e da demanda de energia elétrica; preço dos motores e custo de manutenção. Foi elaborado fluxo de caixa considerando os dados de entrada em um horizonte de planejamento de 20 anos.

3.5.1 Custos com consumo e demanda anual de energia

O consumo anual de energia elétrica (Equação 4) representa a energia consumida (kWh) anualmente com a utilização do motor considerando seu período de funcionamento (horas/ano), rendimento (%), potência nominal (cv), tarifa de consumo (R\$/kWh) e seu IC (%).

$$C_A = 0,736 \times \frac{H_A \times P_N \times IC \times T_C}{\eta} \quad (4)$$

Em que,

C_A - gasto com consumo anual de energia elétrica, R\$ano⁻¹;

H_A - número de horas anuais de funcionamento, hano⁻¹;

P_N - potência nominal do motor, cv;

IC - índice de carregamento do motor, %;

T_C - tarifa de consumo, R\$ kWh⁻¹;

η - rendimento do motor elétrico, decimal;

0,736 - fator de correção da potência de cv para kW.

Os gastos com demanda de energia elétrica dos motores foram estimados por meio da Equação 5:

$$D = \frac{0,736 \times P_N \times IC \times T_D \times 12}{\eta} \quad (5)$$

em que,

D - gasto com demanda de energia elétrica, R\$ ano^{-1} ;

T_D - tarifa de demanda, R\$ KW^{-1} ;

12 - número de meses do ano.

3.5.2 Fluxo de caixa

O fluxo de caixa representa as contribuições monetárias ao longo do horizonte de planejamento (entradas e saídas de dinheiro). Para sua construção, no ano zero, que é o ano inicial do investimento, foram utilizados: os preços de cada motor depreciado, considerando sua idade atual, obtidos por meio da Equação 6; os gastos com consumo e demanda; o índice aumento do preço da energia elétrica acima da inflação; o custo de manutenção; o preço do motor proposto em substituição. Foi considerado que o sistema elétrico e os equipamentos de proteção já se encontram adequadamente instalados na firma.

$$V_M = P_M - i \times d \times P_M \quad (6)$$

em que,

V_M – preço depreciado do motor, R\$;

P_M – preço do motor novo, R\$;

i – idade do motor, anos;

d – índice de depreciação linear, decimal.

Para cálculo do preço atual do motor deve ser calculado o índice de depreciação linear (Equação 7).

$$d = 100 \times \frac{(100 - P_S)}{H_A} \quad (7)$$

em que,

P_s - Percentual do preço do motor ao fim da sua vida útil, %;

H_A - Número de horas trabalhadas por ano, horas;

O fluxo de caixa dos anos seguintes foram calculados por meio da Equação 8. A cada ano de troca de motor no horizonte de planejamento foi considerada a venda do seu preço de sucata e a compra do motor novo naquele ano.

$$F_i = (-D - C_A) \times (1 + T_{ie})^i - C_{AM} \quad (8)$$

em que,

F_i - fluxo de caixa no ano i considerado, R\$;

T_{ie} - índice de aumento do preço da energia elétrica acima da inflação, decimal;

C_{AM} - custo de manutenção do motor em 1 ano, R\$;

i - ano considerado.

3.5.3 Valor presente

O Valor Presente (Equação 9) representa a soma algébrica dos valores presentes envolvidos no fluxo de caixa. Para isso, deve-se considerar a taxa de juro anual e os somatórios dos gastos anuais calculados no fluxo de caixa.

$$VP = \sum_i^n [F_i \times (1 + J)^{-i}] \quad (9)$$

em que,

VP - valor presente, R\$;

n - horizonte de planejamento considerado, anos;

J - taxa de juro anual considerada, %.

O resultado obtido representa o valor atual de todo o investimento feito ao longo do horizonte de planejamento. Como foram analisadas somente as despesas, a melhor opção de investimento será determinada pelo menor valor presente encontrado entre todas as possibilidades de substituição de motores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de entrada dos motores elétricos analisados foram apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Levantamento de dados dos motores eletricos

| Equipamento | Esteira de excrementos | Moinho | Extrusora |
|------------------------------------|------------------------|--------------|----------------|
| Fabricante | Pujol Muntalá | WEG | WEG |
| Número de polos | 4 | 4 | 4 |
| Frequência (Hz) | 60 | 60 | 60 |
| Potência (cv) | 1,5 (1,10 kW) | 250 (184 kW) | 200 (147,1 kW) |
| Tensão nominal (V) | 380 | 380 | 380 |
| Rendimento nominal (%) | 75,20 | 96,10 | 94,80 |
| Número de fases | 3 | 3 | 3 |
| Rotação (rpm) | 819 | 1790 | 1785 |
| Standard ou alto rendimento (AR) | Standard | AR | AR |
| Horas diárias de funcionamento (h) | 0,28 | 5,71 | 5,71 |
| Corrente em cada fase (A) | 5.3 | 298 | 150 |
| Vida útil estimada (anos) | 40 | 10 | 10 |
| Idade do motor (anos) | 20 | 5 | 10 |

4.1 Substituição do motor em uso versus motor standard adequado à condição de carga

A análise de substituição do motor em uso por um motor standard adequado à condição de carga foi feita somente para o motor da esteira de excrementos, visto que o motor do moinho e da extrusora já são equipados com um motor de alto rendimento. Além disso, motores de alta carga alcançam rendimento próximo ao rendimento nominal mesmo sob baixos índices de carregamento. Dessa forma, a aquisição de um novo motor standard de alta carga é inviável para os casos em que já existe um motor de alto rendimento em operação no local.

Assim, foi feita, para o motor das esteiras de excrementos, análise da substituição do motor standard em uso para um motor standard adequado à condição de carga. Os resultados obtidos, apresentados na Tabela 2, mostram que houve uma queda de 27,5% no índice de carregamento e um incremento de 9,08% no rendimento, representando bom potencial de economia para este caso.

Tabela 2 - Comparação entre a substituição do motor em uso por um motor standard adequado à carga

| Motor da esteira de excrementos - 210 unidades instaladas | |
|--|-------------------|
| Parâmetros Avaliados | Valores |
| Potência | 1,5 cv (1,10 kW) |
| Índice de carregamento | 110% |
| Rendimento | 75,20% |
| Resultados (motor standard adequado à condição de carga) | |
| Potência demandada do motor | 1,65 cv (1,21 kW) |
| Motor escolhido | 2 cv (1,5 kW) |
| Índice de carregamento | 82,50% |
| Rendimento | 80,71% |
| Potencial de economia | 9,08% |

Apesar do motor de 2 cv proposto para troca ser do tipo standard e, conseqüentemente, não apresentarem rendimento elevado, motores maiores tendem a ter rendimento maior se comparado a motores menores do mesmo tipo. Assim, a situação apresentou potencial de economia de energia de 9% devido ao maior rendimento nominal que esse motor apresenta em relação ao motor menor, já instalado. Entretanto esse potencial não leva em conta a diferença nos ICs, e sim os rendimentos.

4.2 Substituição do motor em uso versus motor de alto rendimento (AR) na mesma condição de carga

A análise de substituição do motor em uso por um motor de alto rendimento na mesma condição de carga foi realizada somente para o motor da esteira de excrementos, visto que os motores do moinho e da extrusora instalados já são

classificados como de alto rendimento. Os resultados obtidos para a substituição foram apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Comparação entre a substituição do motor em uso por um motor de alto rendimento na mesma condição de carga

| Motor da esteira de excrementos - 210 unidades instaladas | |
|--|-------------------|
| Parâmetros Avaliados | Valores |
| Potência | 1,5 cv (1,10 kW) |
| Índice de carregamento | 110% |
| Rendimento | 75,20% |
| Resultados (motor de alto rendimento na mesma condição de carga) | |
| Potência demandada do motor | 1,65 cv (1,21 kW) |
| Motor escolhido | 1,5 cv (1,10 kW) |
| Índice de carregamento | 110% |
| Rendimento | 86,64% |
| Potencial de economia | 17,56% |

O novo motor, de potência igual à do motor já instalado, por ser de alto rendimento, apresenta rendimento consideravelmente maior, resultando em um incremento de 11,44% no rendimento, e potencial de economia de 17,56% para este caso.

4.3 Substituição do motor em uso versus motor de alto rendimento adequado à condição de carga

Nas tabelas 4, 5 e 6 estão apresentados o dados obtidos para adequação de força motriz do motor já em funcionamento por outro de alto rendimento adequado à condição de carregamento em uso dos motores da esteira de esterco, do moinho e da extrusora, respectivamente.

Tabela 4 - Comparação entre a substituição do motor em uso por um motor de alto rendimento adequado à carga

| Motor da esteira de excrementos - 210 unidades instaladas | |
|--|-------------------|
| Parâmetros Avaliados | Valores |
| Potência | 1,5 cv (1,10 kW) |
| Índice de carregamento | 110% |
| Rendimento | 75,20% |
| Resultados (motor de alto rendimento adequado à condição de carga) | |
| Potência demandada do motor | 1,65 cv (1,21 kW) |
| Motor escolhido | 2 cv (1,5 kW) |
| Índice de carregamento | 82,50% |
| Rendimento | 82,91% |
| Potencial de economia | 12,37% |

O motor da esteira de excrementos, em análise de substituição pelo motor de alto rendimento, apresentou incremento de 7,30% no IC e 7,71% no rendimento em caso de substituição por motor de alto rendimento adequado à condição de carga, resultando em um potencial de economia de 12,37%.

Tabela 5 - Comparação entre a substituição do motor em uso por um motor de alto rendimento adequado à carga

| Motor do moinho - 1 unidade instalada | |
|--|----------------------|
| Parâmetros Avaliados | Valores |
| Potência | 250 cv (184 kW) |
| Índice de carregamento | 86,70% |
| Rendimento | 96,10% |
| Resultados (motor de alto rendimento adequado à condição de carga) | |
| Potência | 216,75 cv (159,5 kW) |
| Motor escolhido | 220 cv (162 kW) |
| Índice de carregamento | 98,50% |
| Rendimento | 96,10% |
| Potencial de economia | 0.0% |

A tabela 5 mostra que houve um incremento de 11,80% no IC e o rendimento se manteve. Isso se explica pelo fato de que ambos motores analisados são de alto rendimento e potência aproximada (250 e 220 cv), podendo apresentar mesmo

rendimento nominal. Assim, o potencial de economia, que usa como base somente os rendimentos dos motores, foi de 0%.

Tabela 6 - Comparação entre a substituição do motor em uso por um motor de alto rendimento adequado à carga

| Motor da extrusora - 1 unidade instalada | |
|---|-------------------|
| Parâmetros Avaliados | Valores |
| Potência | 200 cv (147,2 kW) |
| Índice de carregamento | 44,80% |
| Rendimento | 94,80% |
| Resultados (motor de alto rendimento adequado à condição de carga) | |
| Potência | 89,6 cv (66 kW) |
| Motor escolhido | 100 cv (73,5 kW) |
| Índice de carregamento | 89,60% |
| Rendimento | 94,09% |
| Potencial de economia | -0,8% |

Pela tabela 6 observa-se incremento de 44,80% no IC em caso de substituição. Entretanto, como o motor já instalado é de alto rendimento e o motor proposto, também de alto rendimento, apresenta menor potência nominal, e seu rendimento nominal também é menor, apresentando potencial de economia de -0,8%.

4.4 Substituição do motor em uso versus motor de alto rendimento adequado à condição de carga com número de horas anuais maximizado

Foi estudada também a possibilidade de se aumentar o número de horas anuais de operação de cada motor em relação à condição adequada de carga. É necessária avaliação adicional dos processos da firma para determinar se esse acréscimo no número de horas aumentará a demanda por funcionários ou se os processos são ou podem ser automatizados. Os resultados foram apresentados nas Tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7 - Comparação entre a substituição do motor em uso por um motor de alto rendimento adequado à carga

| Motor da esteira de excrementos - 210 unidades instaladas | |
|---|-----------------|
| Parâmetros Avaliados | Valores |
| Potência | 2 cv (1,5 kW) |
| Índice de carregamento | 82,50% |
| Número de horas de funcionamento anual | 500 |
| Rendimento | 80,71% |
| Resultados (motor de alto rendimento adequado à carga com maximização de horas) | |
| Potência demandada do motor | 2 x (500/1000) |
| Motor escolhido | 1 cv (0,735 kW) |
| Índice de carregamento | 82,50% |
| Número de horas de funcionamento anual | 1000 |
| Rendimento | 85,00% |

A tabela 7 mostra que, com o aumento do número de horas de 500 para 1000 horas anuais é permitido utilizar um motor de 1 cv, ao invés de 2cv para realizar a mesma operação. Entretanto, o rendimento nominal se torna marginalmente maior, pois um motor de mais baixa potência apresenta este parâmetro menor quando se comparado com motor de potência maior, mesmo que não seja de alto rendimento.

Tabela 8 - Comparação entre a substituição do motor em uso por um motor de alto rendimento adequado à carga

| Motor do moinho - 1 unidade instalada | |
|---|-------------------|
| Parâmetros Avaliados | Valores |
| Potência | 220 cv (162 kW) |
| Índice de carregamento | 98,50% |
| Número de horas de funcionamento anual | 2000 |
| Rendimento | 96.10% |
| Resultados (motor de alto rendimento adequado à carga com maximização de horas) | |
| Potência | 220 x (2000/3000) |
| Motor escolhido | 150 cv (110 kW) |
| Índice de carregamento | 98.50% |
| Número de horas de funcionamento anual | 3000 |
| Rendimento | 93,00% |

O aumento do número de horas do motor do moinho, de 2000 para 3000, justifica um motor de potência nominal muito menor (de 220 para 150 cv). Entretanto o rendimento do motor novo será menor, devido à sua potência nominal ser menor do que a do motor analisado, podendo causar um aumento marginal no consumo de energia elétrica.

Tabela 9 - Comparação entre a substituição do motor em uso por um motor de alto rendimento adequado à carga

| Motor da extrusora - 1 unidade instalada | |
|---|-------------------|
| Parâmetros Avaliados | Valores |
| Potência | 100 cv (73,5 kW) |
| Índice de carregamento | 89,60% |
| Número de horas de funcionamento anual | 2000 |
| Rendimento | 94,09% |
| Resultados (motor de alto rendimento adequado à carga com maximização de horas) | |
| Potência | 100 x (2000/3000) |
| Motor escolhido | 75 cv (55 kW) |
| Índice de carregamento | 89.60% |
| Número de horas de funcionamento anual | 3000 |
| Rendimento | 93,00% |

Com o aumento do número de horas do motor da extrusora de 2000 para 3000 pode-se reduzir a potência nominal do motor para 75 cv. Com a potência nominal menor, seu rendimento também reduziu de 1,09%.

4.5 Análise econômica

Os valores presentes destacados na Tabela 10 representam os menores custos possíveis dentre todas as opções analisadas. O somatório desses valores, e considerando os 210 motores para a esteira de excrementos é igual a R\$3.765.053,83. O somatório dos valores presentes caso não seja empregada nenhuma mudança na firma é igual a R\$4.631.663,94. Caso não seja possível maximizar o número de horas de funcionamento dos sistemas, o somatório dos menores valores presentes apresentados é igual a R\$4.482.220,72. O potencial de economia para o caso de substituição dos motores em relação a não alterar o regime de operação dos motores é de 3,23%, ou R\$149.443,22. Caso seja feita

remanejamento de cargas e maximização do número de horas, em relação a não adequar o processo, o potencial de economia é de 18,71%, ou R\$866.610,11.

Tabela 10 - Índices utilizados na análise econômica e valores presentes obtidos

| Motor | Unidade | Motor em uso | | | Motor Standard adequado | | | Motor AR não adequado | | | Motor AR adequado | | | Motor AR Horas Maximizadas | | |
|---|---------|--------------|------------|---------|-------------------------|--------|----------|-----------------------|------------|----------|-------------------|------------|----------|----------------------------|------------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Potência | cv | 1,5 | 250 | 200 | 2 | 1,5 | 100 | 2 | 220 | 100 | 1 | 150 | 75 | 1 | 150 | 75 |
| Índice de carregamento | % | 110 | 86,70 | 44,80 | 82,50 | 110 | 89,60 | 82,50 | 98,50 | 89,60 | 82,50 | 86,70 | 89,60 | 82,50 | 86,70 | 89,60 |
| Rendimento | % | 75,20 | 96,10 | 94,80 | 80,71 | 110 | 94,09 | 82,50 | 96,10 | 94,09 | 85,00 | 93,00 | 93,00 | 85,00 | 93,00 | 93,00 |
| Preço do motor | R\$ | 800 | 19000 | 16000 | 900 | 900 | 10000 | 1000 | 17000 | 10000 | 550 | 14000 | 9000 | 550 | 14000 | 9000 |
| Número de horas de funcionamento anual | h | 500 | 2000 | 2000 | 500 | 500 | 2000 | 500 | 2000 | 2000 | 1000 | 3000 | 3000 | 1000 | 3000 | 3000 |
| Juros (custo de oportunidade) | %/ano | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Valor de sucata | % | 10 | 20 | 20 | 10 | 10 | 20 | 10 | 20 | 20 | 10 | 20 | 20 | 10 | 20 | 20 |
| Custo unitário da energia fora de ponta | R\$/kWh | 0.3703 | 0.3703 | 0.3703 | 0.3703 | 0.3703 | 0.3703 | 0.3703 | 0.3703 | 0.3703 | 0.3703 | 0.37029 | 0.3703 | 0.3703 | 0.37029 | 0.3703 |
| Custo unitário da demanda fora de ponta | R\$/kWh | 18.93 | 18.93 | 18.93 | 18.93 | 18.93 | 18.93 | 18.93 | 18.93 | 18.93 | 18.93 | 18.93 | 18.93 | 18.93 | 18.93 | 18.93 |
| Aumento do preço da energia acima da inflação | %/ano | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Manutenção | % | 0,5 | 2 | 2 | 0,5 | 0,5 | 2 | 0,5 | 2 | 2 | 0,5 | 2 | 2 | 0,5 | 2 | 2 |
| Horizonte de planejamento | ano | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Valor Presente | R\$ | -7.979 | -2.027.920 | -876.23 | -8.226 | -7.692 | -865.519 | -8.115 | -2.001.364 | -865.519 | -5.509 | -1.742.668 | -905.896 | -5.509 | -1.742.668 | -905.896 |

Assim, é comprovado que a adequação de força motriz não envolve somente o remanejamento de cargas obtido pela substituição de motores. A mudança no processo pode ser realizada de diversas formas e requer avaliações adicionais, principalmente de suas limitações. Entretanto, uma dessas mudanças, aumentando o número de horas de funcionamento, permite a seleção de um motor com potência inferior, reduzindo consideravelmente os gastos com demanda de energia elétrica (que correspondem aos maiores gastos fixos relativos à operação dos motores), podendo aumentar marginalmente os gastos com consumo. Além disso, a escolha de motores deve ser feita não somente observando a potência necessária, mas observando o torque em regime permanente e em regime transiente - análises que não foram realizadas no presente trabalho. Adicionalmente, caso a firma possua banco de motores ou muitos motores em operação esse remanejamento de cargas pode ser interno, eliminando-se a necessidade de adquirir novos motores. Em consequência, os motores instalados terão potência adequada para suas respectivas máquinas.

Foi também elaborada análise de sensibilidade do percentual total de economia do projeto sob alteração do índice de aumento do preço da energia elétrica (I) e do juros anual (J) para verificar se a proposta ainda valeria a pena para o gestor com essas flutuações financeiras. Os resultados foram apresentados na Tabela 11. Observa-se que à medida que o índice de aumento da energia elétrica acima da inflação aumenta a economia atingida com a execução do projeto em um horizonte de planejamento de 20 anos também aumenta. O juro anual causa decréscimo na economia proporcionalmente para todos os valores de índice de aumento da energia acima da inflação. Sendo assim, o projeto mostra-se efetivo quanto se trata de otimizar os gastos com energia elétrica com a troca de motores e alteração do processo.

Tabela 11 - Análise de sensibilidade, em %.

| J/I | 0% | 2% | 4% | 6% | 8% | 10% | 12% |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| 4% | 18.25 | 18.35 | 18.42 | 18.45 | 18.46 | 18.43 | 18.38 |
| 6% | 17.93 | 18.08 | 18.21 | 18.3 | 18.35 | 18.37 | 18.37 |
| 8% | 17.58 | 17.79 | 17.96 | 18.1 | 18.21 | 18.28 | 18.31 |
| 10% | 17.21 | 17.47 | 17.69 | 17.87 | 18.03 | 18.14 | 18.22 |
| 12% | 16.83 | 17.12 | 17.39 | 17.62 | 17.81 | 17.97 | 18.09 |
| 14% | 16.44 | 16.76 | 17.06 | 17.33 | 17.56 | 17.76 | 17.93 |
| 16% | 16.04 | 16.39 | 16.72 | 17.02 | 17.29 | 17.53 | 17.73 |

5 CONCLUSÃO

A proposta de alteração dos motores e do seu regime de operação se mostrou efetiva, apresentando maior economia quando o juro anual é menor e o aumento do preço da energia acima da inflação é maior.

Para alcançar a melhor economia calculada sugere-se que sejam feitas as seguintes substituições:

i) motor da esteira de esterco por um motor de alto rendimento de 1 cv, e maximizar o uso para 1000 horas anuais de operação;

ii) motor do moinho por um motor de alto rendimento de 220 cv, mantendo o número de horas anuais de operação;

iii) motor da extrusora por um motor de alto rendimento de 75 cv, e maximizar o uso para 3000 horas anuais de operação.

Há grande necessidade de se iniciar a gestão dos dados de manutenções preventivas, reparos emergenciais, rebobinamentos e substituições de motores e peças na empresa. Essas informações geram conhecimento e possibilidades de desenvolver um projeto de eficientização energética mais abrangente, permitindo maior economia e, conseqüentemente, investimentos em outras áreas da empresa.

REFERÊNCIAS

- BERGAMIN, Márcia Cristina. **Da penúria ao sucesso econômico: o processo de formação e desenvolvimento territorial de Santa Maria de Jetibá no Espírito Santo**. São Paulo, 2015. Tese de Doutorado (Programa de Pós Graduação em Geografia Humana), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciência Humanas. Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo.
- CAMPANA, S.; OLIVEIRA FILHO, D.; SOARES, A.; OLIVEIRA, R. **Estudo comparativo de métodos para estimativa do carregamento e rendimento de motores elétricos para auditoria energética**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.4, n.2, p.241-246, 2000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Número de galinhas poedeiras**. Séries históricas. Rio de Janeiro : IBGE, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/>>. Acesso em: 9 jun. 2019.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Efficiency 2018**. Analysis and outlooks to 2040. Paris, França, 2018. 173p.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems. Working Paper**. Paris, França, 2011. 132p.
- LOPES, Daniela de Carvalho. **Sistema computacional de análises técnica e econômica para adequação de força motriz**. Viçosa, 2002. Tese de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola), Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Viçosa.
- OLIVEIRA FILHO, D.; TEIXEIRA, C. A.; LACERDA FILHO, A. F; MARTINS, J. H. **Metodologia para racionalização do uso de energia elétrica para obtenção de força motriz em fábrica de ração: Estudo de caso**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.8, n.1, p.144-152, Jan 2004.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development**. Nova Iorque, Estados Unidos, 2015. 41p.
- WAIDE, P.; BRUNNER, C. U. **Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems**. Paris, França, 2011. 132p.
- WEG, S.A. **Electric Motor Selection**. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net>>. Acesso em 17 jun. 2019.