

CARLOS ALBERTO TEIXEIRA

**METODOLOGIA PARA ADEQUAÇÃO DO USO DE
FORÇA MOTRIZ EM PROCESSOS AGRÍCOLAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2002**

CARLOS ALBERTO TEIXEIRA

**METODOLOGIA PARA ADEQUAÇÃO DO USO DE FORÇA
MOTRIZ EM PROCESSOS AGRÍCOLAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 26 de fevereiro de 2002.

Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho
(Conselheiro)

Prof. José Helvecio Martins
(Conselheiro)

Prof. Evandro de Castro Melo

Dr. José Márcio Costa

Prof. Delly Oliveira Filho
(Orientador)

Aos meus pais Teodora Francisca Xavier e
José Justiniano Teixeira.

Aos meus irmãos Rita de Cássia Teixeira,
Maria de Fátima Teixeira e José Eduardo Teixeira.

AGRADECIMENTO

Devo a Deus cada momento, cada olhar, meu respirar.

Agradeço a meus familiares, minha noiva Maria Aparecida e minha filha Aline pelo apoio, pelo incentivo, meu motivo, de sempre continuar.

Lembro de meus amigos de Jundiaí, que sempre torceram e fizeram o possível por mim, especialmente Alexandre, Ricardo e Chico.

Aos meus amigos do alojamento posinho 1522, pelo incentivo e amizade.

Ao professor Delly Oliveira Filho, pela amizade, confiança e orientação.

Aos professores conselheiros Adílio Flauzino de Lacerda Filho e José Helvecio Martins, pela amizade, orientação e sugestões dispensadas.

A todos da Área de Energia na Agricultura do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, meus amigos, pela amizade, companheirismo e lealdade. À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Engenharia Agrícola.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pelo financiamento dos estudos e da pesquisa.

À empresa Pif Paf Alimentos S.A. por ter cedido generosamente a fábrica de ração para realização de estudos de auditoria energética.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, Silas, Sebastião, Joel, Marcos, José Galinári, Dona Maria, Jurandir, Juvercino, Edna, Dona Fátima e à todos funcionários da fábrica de ração pela ajuda e atenção dispensada.

A todos meus amigos, pelo apoio, pelo incentivo e pela torcida.

BIOGRAFIA

CARLOS ALBERTO TEIXEIRA, filho de Teodora Francisca Xavier e José Justiniano Teixeira, nasceu no dia 12 de julho de 1973, em Itu, SP.

Em 30 de dezembro de 1992, recebeu a habilitação profissional parcial de Desenhista de Agrimensura, na Escola Técnica Estadual Vasco Antônio Venchiarutti (ETEVAV), Jundiaí, SP.

Em 30 de junho de 1993, recebeu a habilitação profissional plena de Técnico em Agrimensura, na Escola Técnica Estadual Vasco Antônio Venchiarutti (ETEVAV), Jundiaí, SP.

Em janeiro de 2000, recebeu a habilitação profissional em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Em março de 2000, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, na área de Energia na Agricultura, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em fevereiro de 2002.

ÍNDICE

LISTA DE QUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
2. RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA OBTENÇÃO DE FORÇA MOTRIZ EM FÁBRICA DE RAÇÃO - ESTUDO DE CASO.....	7
RESUMO.....	7
2.1 INTRODUÇÃO.....	9
2.2 OBJETIVO.....	12
2.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
2.3.1 Adequação de força motriz.....	14
2.3.2 Análise econômica.....	22
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
2.5 CONCLUSÃO.....	28
2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
3. RACIONALIZAÇÃO DO USO DE FORÇA MOTRIZ EM FÁBRICA DE RAÇÃO DA PIF PAF – ESTUDO DE CASO.....	31
RESUMO.....	31
3.1 INTRODUÇÃO.....	33

3.1.1	Elevadores de caçambas.....	36
3.1.2	Transportadores de arraste - tipo Redler.....	38
3.1.3	Transportador helicoidal.....	41
3.1.4	Fita transportadora.....	42
3.2	OBJETIVO.....	46
3.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	47
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
3.5	CONCLUSÃO.....	67
3.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
4.	DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA A ADEQUAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ.....	69
	RESUMO.....	69
4.1	INTRODUÇÃO.....	70
4.2	OBJETIVO.....	73
4.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	74
4.3.1	Modelamento de curvas características de motores elétricos.....	74
4.3.2	Desenvolvimento do programa computacional.....	75
4.3.3	Validação do programa.....	83
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
4.5	CONCLUSÃO.....	87
4.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
5.	SIMULAÇÃO DO USO DO VARIADOR DE FREQUÊNCIA ACOPLADO A TRANSPORTADORES DE PRODUTOS AGRÍCOLAS.....	90
	RESUMO.....	90
5.1	INTRODUÇÃO.....	92
5.2	OBJETIVO.....	98
5.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	99
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	103
5.5	CONCLUSÃO.....	116
5.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
6.	CONCLUSÃO GERAL.....	120
6.1	Racionalização do uso de energia elétrica para obtenção de força motriz em fábrica de ração - estudo de caso.....	120

6.2	Racionalização do uso de força motriz em fábrica de ração da Pif Paf – estudo de caso.....	121
6.3	Desenvolvimento de programa computacional para adequação de força motriz.....	122
6.4	Simulação do uso do inversor de frequência acoplado a transportadores de produtos agrícolas.....	122
7.	APÊNDICES.....	124
	APÊNDICE A. DADOS DOS MOTORES ELÉTRICOS EM FUNCIONAMENTO DE FÁBRICA DE RAÇÃO.....	125
	APÊNDICE B. ANÁLISE ECONÔMICA DA ADEQUAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ DE MOTORES DA FÁBRICA DE RAÇÃO.....	138

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1.	Comparação entre a substituição de um motor padrão em uso por um motor padrão adequado à condição de carga em uso.....	17
Quadro 2.2.	Comparação entre a substituição de um motor padrão em uso por um motor padrão adequado à condição de carga em uso.....	18
Quadro 2.3.	Comparação entre a substituição de um motor padrão por outro motor de alto rendimento de mesma potência.....	19
Quadro 2.4.	Comparação entre a substituição de um motor padrão por um motor de alto rendimento adequado à carga.....	20
Quadro 2.5.	Comparação entre a substituição de um motor padrão em uso por um motor de alto rendimento adequado a condição de carga.....	20
Quadro 2.6.	Comparação entre a substituição de um motor padrão em uso por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga com número de horas de funcionamento anual maximizado.....	21
Quadro 2.7.	Levantamento de dados dos motores elétricos da fábrica de ração da UFV.....	23
Quadro 2.8.	Índices utilizados na análise econômica.....	24
Quadro 2.9.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do moinho principal.....	25
Quadro 2.10.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do misturador.....	26
Quadro 2.11.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do exaustor.....	26
Quadro 2.12.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do sistema de transporte.....	27

Quadro 3.1.	Modelo de moinho a martelo com a respectiva potência e capacidade de produção horária.....	34
Quadro 3.2.	Características técnicas do misturador.....	35
Quadro 3.3.	Capacidade relativa do transportador versus inclinação do transportador.....	39
Quadro 3.4.	Coefficiente para transporte horizontal (C_1) e vertical (C_2) para soja e milho.....	40
Quadro 3.5.	Levantamento de dados para realização de análise econômica de motores elétricos da fábrica de ração.....	57
Quadro 3.6.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do elevador de caçambas 37.....	59
Quadro 3.7.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 58.....	59
Quadro 3.8.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do alimentador 24.1.....	60
Quadro 3.9.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do moinho 26.1.....	60
Quadro 3.10.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do misturador 30.....	61
Quadro 3.11.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 13.1.....	61
Quadro 3.12.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca transportadora 29 R.....	62
Quadro 3.13.	Rendimento por faixa de potência de motores elétricos tipo padrão na situação atual e de motores de alto rendimento adequados (AR AD) para melhor opção de troca de motores elétricos.....	63
Quadro 3.14.	Índice de carregamento por faixa de potência de motores elétricos do tipo padrão, em situação atual de funcionamento.....	64
Quadro 3.15.	Resultados da comparação entre as diferentes formas de analisar os equipamentos da planta da fábrica.....	65
Quadro 4.1.	Caracterização do uso de força motriz para dois motores elétricos.	85
Quadro 4.2.	Adequação de força motriz para motores elétricos.....	85
Quadro 5.1.	Classificação e aplicabilidade dos transportadores contínuos.....	93
Quadro 5.2.	Fatores de correção (fator de segurança) em função da potência do transportador helicoidal.....	95
Quadro 5.3.	Ângulos de inclinação do transportador helicoidal nos testes com inversor de frequência para o transporte de milho e sorgo.....	100
Quadro 5.4.	Dados do transportador helicoidal e do motor elétrico para o transporte de milho para 13,9° de inclinação.....	104

Quadro 5.5.	Dados do transportador helicoidal e do motor elétrico para o transporte de sorgo para 17,2° de inclinação.....	105
Quadro 5.6.	Dados do motor elétrico, do transportador e dados elétricos dos motores sob carga para transporte de milho para inclinação de 16,3°.....	106
Quadro 5.7.	Dados do motor elétrico, do transportador e dos motores sob carga para transporte de sorgo para inclinação de 20,4°.....	107
Quadro 5.8.	Parâmetros de entrada para análise de vida útil do motor elétrico do transportador helicoidal sob carga.....	108
Quadro 5.9.	Consumo de energia elétrica e gasto com energia elétrica durante a vida útil do motor elétrico, para a menor inclinação do transportador helicoidal.....	108
Quadro 5.10.	Consumo de energia elétrica e gasto com energia elétrica durante a vida útil do motor elétrico, para a maior inclinação do transportador helicoidal.....	109
Quadro 5.11.	Rotação e diâmetro das polias motora e movida para inclinação menor do transportador helicoidal com e sem o uso de inversor de frequência.....	111
Quadro 5.12.	Rotação e diâmetro das polias motora e movida para inclinação maior do transportador helicoidal com e sem o uso de inversor de frequência.....	111
Quadro 5.13.	Dados para análise de um motor de 18,4 kW (25 cv), 4 pólos, padrão para 3.000, 5.500 e 8.000 horas de funcionamento anual, com a utilização do inversor de frequência.....	112
Quadro 5.14.	Dados de entrada para análise dos motores de 18,4 kW (25 cv), 55,2 kW (75 cv) e 92 kW (125 cv), 4 pólos, padrão para 5.500 horas de funcionamento anual com a utilização do inversor de frequência.....	114
Quadro 1 A.	Relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif.....	125
Quadro 3.16.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 38.....	138
Quadro 3.17.	Análise econômica adequação de força motriz para o motor do elevador de caçambas 20.....	138
Quadro 3.18.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do alimentador 24.2.....	139
Quadro 3.19.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do moinho 26.2.....	139
Quadro 3.20.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 36.....	140
Quadro 3.21.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do elevador de caçambas 7.....	140

Quadro 3.22.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 8.....	141
Quadro 3.23.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 12.3.....	141
Quadro 3.24.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 13.2.....	142
Quadro 3.25.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 12.1.....	142
Quadro 3.26.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 15.3.....	143
Quadro 3.27.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 12.2.....	143
Quadro 3.28.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 14.1.....	144
Quadro 3.29.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 15.1.....	144
Quadro 3.30.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 15.2.....	145
Quadro 3.31.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 14.2.....	145
Quadro 3.32.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 18.....	146
Quadro 3.33.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 5.....	146
Quadro 3.34.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do elevador de caçambas 27 R.....	147
Quadro 3.35.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 33 R.....	147
Quadro 3.36.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 25 R2.....	148
Quadro 3.37.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 4.....	148
Quadro 3.38.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do elevador de caçambas 19 R.....	149
Quadro 3.39.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 8 R.....	149
Quadro 3.40.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca transportadora 11 R1.....	150
Quadro 3.41.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca transportadora 11 R2.....	150

Quadro 3.42.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca transportadora 24 R1.....	151
Quadro 3.43.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca transportadora 24 R2.....	151
Quadro 3.44.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca transportadora 22 R.....	152
Quadro 3.45.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 14 R.....	152
Quadro 3.46.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 15 R.....	153
Quadro 3.47.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 26 R.....	153
Quadro 3.48.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do elevador de caçambas 6 R.....	154
Quadro 3.49.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca transportadora 4 R.....	154
Quadro 3.50.	Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 25 R1.....	155

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	Vista da fábrica de ração da UFV.....	13
Figura 2.2.	Vista de alguns equipamentos da fábrica de ração.....	14
Figura 2.3.	Fluxograma para adequação de força motriz.....	16
Figura 3.1.	Fábrica de ração da empresa Pif Paf.....	47
Figura 3.2.	Sala de controle e proteção da fábrica de ração.....	48
Figura 3.3.	Moega de descarga de grãos.....	48
Figura 3.4.	Sistema de armazenagem de grãos.....	49
Figura 3.5.	Sistemas de pesagem e dosagem automática dos ingredientes da ração.....	49
Figura 3.6.	Sistema de mistura dos ingredientes da ração.....	50
Figura 3.7.	Sistema de moagem dos ingredientes da ração.....	50
Figura 3.8.	Expedição rodoviária da ração a granel.....	51
Figura 3.9.	Vista do sistema de movimentação de grãos.....	51
Figura 3.10.	Fluxograma de funcionamento dos equipamentos de transporte da fábrica de ração da empresa Pif Paf simplificado.....	53
Figura 3.11.	Curva característica de motores elétricos.....	54
Figura 4.1.	Fluxograma do programa computacional.....	76
Figura 4.2.	Módulo "Apresentação e entrada de dados econômicos" do sistema para adequação de força motriz.....	77
Figura 4.3.	Módulo "Entrada de dados do motor em uso" do sistema para adequação de força motriz.....	77
Figura 4.4.	Módulo "Relatório" do Sistema para adequação de força motriz	83

Figura 5.1.	Vistas do transportador helicoidal utilizado nos testes.....	100
Figura 5.2.	Vista de alguns equipamentos de medição: trena, inversor de frequência e tacômetro.....	101
Figura 5.3.	Alicate amperométrico para medição da corrente elétrica e da tensão de cada fase do motor elétrico do transportador helicoidal.....	101
Figura 5.4.	Medição da inclinação de transportador helicoidal.....	102
Figura 5.5.	Gastos anuais com energia elétrica para transporte de milho e sorgo, com e sem o uso de inversor de frequência em função da inclinação do transportador helicoidal.....	109
Figura 5.6.	Economia líquida no horizonte de planejamento com o uso de inversor de frequência em um motor elétrico tipo padrão de 18,4 kW (25 cv), 4 pólos, em função do número de horas de funcionamento anual e do índice de carregamento.....	113
Figura 5.7.	Economia líquida no horizonte de planejamento com investimento em inversores de frequência para motores de 18,4 (25 cv); 55,2 (75 cv) e 92 kW (125 cv) com 5.500 horas de funcionamento anual.....	115

RESUMO

TEIXEIRA, Carlos Alberto, M. S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2002.
Metodologia para adequação do uso de força motriz em processos agrícolas
Orientador: Delly Oliveira Filho. Conselheiros: Adílio Flauzino de Lacerda Filho e José Helvecio Martins.

Nos últimos anos, a industrialização e o crescimento econômico, no Brasil vêm causando aumento na demanda de energia elétrica, associados às crescentes inovações tecnológicas. A falta de investimentos no setor energético, que causou racionamento de energia elétrica a partir de junho de 2001, aliadas à sazonalidade dos recursos necessários para geração de energia hidroelétrica, torna a racionalização do uso de energia elétrica uma ferramenta de apoio imprescindível ao crescimento sustentável do País. A utilização de energia elétrica nos diversos setores é de cerca de 49 % (setor industrial), 24 % (setor residencial), 12 % (setor comercial), 12 % (setor governamental) e 3 % (setor rural). No setor industrial, o uso final de energia elétrica é distribuído da seguinte forma: cerca de 49 % para força motriz, 32 % para fornos, 10 % para caldeira, 7 % para eletrólise química e 2 % para iluminação. Os motores elétricos representam cerca de 35 % do consumo global de energia elétrica no País. São mais de 10 milhões de motores elétricos, em funcionamento. O racionamento de energia elétrica determinado pelo governo federal incentiva a adoção de medidas de racionalização do uso de energia elétrica, dentre elas o uso de força motriz. Dentre todas as opções de gerenciamento do lado da demanda, a adequação de força motriz é economicamente a mais viável. No complexo agroindustrial, há necessidade de estudos voltados para a racionalização do

uso de energia elétrica em fábricas de pré-processamento de grãos, em geral, e fábricas de ração em particular, haja vista o grande potencial de economia do uso de energia elétrica que representam. Dentre os estudos e medidas que devem ser contemplados, visando ao uso racional de energia elétrica, destacam-se a utilização de inversores de frequência acoplados a transportadores de grãos e o desenvolvimento de programas computacionais para adequação de força motriz. A utilização de inversores de frequência é útil em razão da possibilidade de racionalização do uso de energia elétrica, da automação, controle da corrente de partida e da potência reativa demandada. Já a adequação de força motriz e conseqüentemente, do processo, gera a otimização de recursos de energia e economia disponíveis. Estudos realizados sobre a utilização de energia elétrica na agricultura pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, apresentaram um potencial médio de 25 % de economia e conservação de energia elétrica, em ações de adequação de força motriz e utilização de inversor de frequência. As possíveis causas do desperdício de energia elétrica, em unidades armazenadoras, são, principalmente, as seguintes: a falta de conhecimento quanto à carga dos transportadores a ser trabalhada; as diferenças nas condições de teste dos equipamentos dos fabricantes, em relação às condições dos equipamentos em funcionamento; os sucessivos coeficientes de segurança embutidos nos projetos; o desbalanceamento das fases e do nível de tensão na rede de distribuição de energia elétrica, a não adoção de motores eficientes e aparelhos eletrônicos com ênfase no comando, proteção e acionamentos; e o número de horas de funcionamento anual não otimizado.

ABSTRACT

TEIXEIRA, Carlos Alberto, M. S., Universidade Federal de Viçosa, February de 2002.
Methodology for adequacy of electric traction in agricultural processes.
Adviser: Delly Oliveira Filho. Committee Members: Adílio Flauzino de Lacerda Filho, e José Helvecio Martins.

Through the past years, the industrialization and the economic growth have increased the demand of electric energy, associated with the increasing technological innovations. The lack of investments in the electric power generation, have caused a necessity of reducing the use of electrical energy in Brazil, since July 2001. Due to this fact, allied to the seasoning resources needed for the generation of hydroelectric energy, to make a support tool out of rationalization of electrical energy consumption is very helpful to the growth of the country. The use of electric energy in Brazil are estimated by: 49 % in the industrial sector, 24 % in the residential sector, 12 % in the commercial sector, 12 % in the government sector and 3 % in the rural sector. In the industrial sector, the final use of electric energy is distributed in the following way: 49 % for motive power, 32 % for ovens, 10 % for boilers, 7 % for chemical electrolysis and 2 % for lighting. The electric motors represent about 35 % of the global consumption of electric energy in Brazil. There are more than 10 million electric motors in operation. The rationalization of electric energy proposed by the Federal Government strongly motivates the use of measures that rationalize the use of electric energy, such as decreasing the use of the motive force. Among all the options of controlling the

demand, the adaptation of motive power is the most viable economically. In the agriculture-industrial complex, the rationalization of the use of electric energy in pre-processing grain factories (generally animal ration factories) needs to be studied carefully due to the great saving of energy consumption that it represents. Through the midst of measures and studies that should be considered for aiming the rational use of electrical energy, are most important the use of frequency inverters attached to grain transporters and the development of motive power adaptation software. The use of frequency inverters makes it more possible to rationalize the electric energy consumption, the automation, the control of the start current and the reactive power demanded; while the adaptation of the motive power, and consequently of the whole process, creates better use over the power and economical resources available. Studies accomplished in the Federal University Viçosa, at the Agricultural Engineering Department, by the Agriculture Energy Area, presented an average potential of 25 % economy and conservation of electric energy in use of adaptation of motive power and frequency inverter. The possible causes of the waste of electric energy in the storage units, are due to the lack of knowledge on conveyors' loads which will be worked with and because the equipment's conditions from the factory's tests differ from the conditions of the equipment's in operation. Also, successive coefficients of safety are embedded in the projects, the voltage fluctuation of the phases and of the tension level in the net of distribution of electric energy is unbalanced, the non adoption of efficient motors and electronic equipments with emphasis in the command, lack of protection and activation and non controlled number of hours of operation per year.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O sistema energético nacional é formado, principalmente, por usinas hidroelétricas que geram cerca de 95 % da energia elétrica consumida no País. A seca prolongada, no período de 1951 a 1956, e a necessidade de garantir o abastecimento interno de energia elétrica, resultaram na construção da Usina Hidrelétrica de Furnas, em 1957 (BENJAMIN 2001).

A partir daí, foi incrementado o fornecimento do sistema energético, a fim de garantir a oferta de energia elétrica a preços baixos e alta confiabilidade. Assim, o sistema elétrico foi projetado para operar com até cinco anos de carência de chuvas, armazenando água em seus reservatórios. A expansão do sistema energético foi projetada de modo a considerar a demanda crescente, a possibilidade de seca prolongada, bem como o tempo consumido na construção e implementação de novas usinas hidrelétricas.

Na década de noventa, houve um sistemático plano de privatizações, atingindo também o sistema energético brasileiro. O sistema vigente até então proporcionava grande soma de recursos ao Estado. A partir da privatização, houve um aumento sistemático nas tarifas de demanda e consumo, e concomitantemente à diminuição dos investimentos necessários para manutenção do sistema. O sistema foi se tornando, cada vez mais, instável até chegar ao período de racionamento (BENJAMIN 2001). Análises equivocadas levam à conclusão que a crise de energia elétrica ocorre em razão da escassez de chuvas, enquanto o problema reside-se, realmente na falta de investimentos

no setor energético, no sentido de possibilitar o atendimento de uma política econômica crescente, com taxas em níveis sustentáveis.

A privatização do setor não ocorreu concomitantemente com as necessidades de investimento em novas usinas, linhas de transmissão e subestações, o que acarretou o racionamento de energia elétrica a partir de junho de 2001.

A industrialização e o crescimento econômico, associados às crescentes inovações tecnológicas dos últimos anos, vêm causando aumento substancial na demanda de energia elétrica. A falta de investimentos no setor visando à geração, transmissão e distribuição de energia, fazem da racionalização do uso de energia elétrica uma ferramenta de apoio imprescindível ao crescimento do País.

O planejamento energético tradicional procura expandir os recursos da oferta de energia elétrica com o propósito de atender, com segurança, principalmente, os critérios de crescimento de demanda futura e minimizar o custo da expansão. Esses critérios de planejamento tradicional, aliados ao baixo custo de energia praticado até a década de 70, levaram à estratégia, quase universal, da rápida expansão da capacidade geradora, sem uma preocupação explícita com o crescimento da demanda, dando pouca ênfase à eficiência do uso energético.

Com a crise do petróleo em 1973, o planejamento energético passou a contemplar opções de gerenciamento do lado da demanda (GLD) em virtude do alto custo da energia. O planejamento energético passou a ser integrado, englobando os recursos energéticos e o uso final da energia. Este modelo tem sido denominado Planejamento Integrado de Recursos (PIR). O PIR combina opções de tecnologia de oferta de eletricidade e melhoria da eficiência energética, para prover serviços de energia elétrica com menor custo, incluindo a contabilização dos custos social e ambiental. Segundo JANNUZZI e SWISHER (1997), o PIR inclui opções de gerenciamento do lado da demanda (GLD) e do lado do suprimento (GLS).

O GLS visa racionalizar o uso da energia elétrica pelo lado do suprimento de energia, englobando medidas como a construção e ampliação de unidades geradoras, subestações e linhas de transmissão. O GLD atua, diretamente, na curva de carga de uma determinada concessionária de energia elétrica. Como exemplos de ações do GLD, para diminuição da demanda de pico, citam-se: (i) o uso de equipamentos mais eficientes; (ii) o remanejamento de cargas; e (iii) o controle direto de cargas.

De acordo com PINHEIRO (1986), a Eletrobrás estudou quatorze opções de GLD de energia elétrica, que incluem: (i) aumentar a eficiência de refrigeradores e ar

condicionado; (ii) substituir lâmpadas incandescentes por fluorescentes comuns, ou compactas e incandescentes do tipo econômico; (iii) substituir lâmpadas de vapor de mercúrio por lâmpadas de vapor de sódio; (iv) substituir motores elétricos do tipo padrão por modelos de alto rendimento; e (v) adequação da força motriz. A adequação de força motriz foi a opção de menor custo, dentre as pesquisadas, ou seja, aquela cujo custo é inferior a sete por cento, de um centavo por kWh economizado.

Os principais usos finais da energia elétrica são o aquecimento, a iluminação e força motriz. Segundo LOW (1993), no Canadá, a força motriz é responsável por cerca de 75 % do uso final de energia elétrica utilizada no setor industrial.

No setor industrial brasileiro, o uso de motores para força motriz representa, praticamente, metade do consumo de energia elétrica no País, aproximadamente 49 % do consumo no setor (ELETROBRÁS, 1998).

LATORRE et al. (1990), em estudos sobre o uso de força motriz nas indústrias brasileiras, abrangendo cerca de 50.000 motores, concluíram que cerca de 50 % dos motores operavam com índice de carregamento abaixo de 80 %, ou seja, o percentual de energia mecânica demandada pela carga era, em 50 % dos casos, inferior ao recomendado. Ressalta-se, neste caso, que para motores com partida sem carga, são recomendados índices de carregamento entre 80 a 100 %. Constatou ainda, que cerca de 24,1 % do total de motores analisados, em nível nacional, estavam operando com 60 % de carregamento, no máximo.

Este estudo revelou que, em alguns estados brasileiros, os motores possuem índices de carregamento menores que a média nacional, sendo que em alguns estados, 32,1 % dos motores operam com até 60 % da carga. Este fato caracteriza o grande potencial de racionalização do uso de energia elétrica, no setor industrial brasileiro. Esta racionalização do uso de força motriz poderá ser alcançada por meio de uma maior difusão do uso de motores de alta eficiência e um dimensionamento correto de motores elétricos, pela realização de testes e emissão de certificados e avaliação de desempenho de máquinas agrícolas.

A perfeita escolha de transportadores de grãos está condicionada a vários fatores, tais como a capacidade operacional, forma do produto a ser transportado, friabilidade e massa específica do produto, tamanho do material, plano de transporte (horizontal, inclinado ou vertical), condições de trabalho (temperatura, umidade, dentre outras), distância a ser atendida pelo transportador, espaço disponível para o transportador e a configuração do terreno (KEPLER, 1975).

Segundo LOPES et al. (2000) e SILVA et al. (2000), existe um grande potencial de economia de energia elétrica, nas unidades armazenadoras. Os transportadores contínuos, tais como elevadores de caçambas, transportadores helicoidais, transportadores de arraste e fitas transportadoras, são equipamentos utilizados em unidades armazenadoras, fábricas de ração e de cimento, que trabalham com cargas variáveis. Entretanto, ainda é desconhecido um estudo sobre a utilização de inversores de frequência nos equipamentos de transporte, visando à economia de energia elétrica e à automação no processo de transporte.

A ANEEL – PROCEL / ELETROBRÁS - CEMIG lançaram o programa de uso de inversores de frequência visando economizar 1,5 MW de potência elétrica, no ano de 2001, somente com a utilização de inversores acoplados a motores elétricos (CEMIG, 2001).

Segundo WEG (2001), as principais aplicações dos inversores de frequência são os acionamentos em bombas centrífugas, bombas dosadoras de processos, ventiladores e exaustores, agitadores e misturadores, extrusoras, esteiras transportadoras, mesas de rolos, granuladores e peletizadoras, secadores e fornos rotativos, filtros rotativos, bobinadores e desbobinadores, máquinas de corte e solda.

No pré-processamento de produtos agrícolas, as etapas de transporte, pré-limpeza, moagem, secagem, limpeza e aeração podem ser classificadas como cargas variáveis, na maioria das situações.

Desta forma, a utilização de inversores de frequência constitui um grande potencial de aplicação em sistemas com carga variável dos motores elétricos, adequando-os à solicitação de carga e às necessidades do processo e exigências de partida e controle, automatizando e racionalizando o uso de energia elétrica.

1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENJAMIN, C. **A crise de energia elétrica.** Jornal da AMBEP, Rio de Janeiro, ago. 2001. Encarte especial, 7p.
- CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Soluções energéticas - Programa inversores de frequência.** Belo Horizonte: CEMIG, 2001.
- ELETOBRÁS - **Guia operacional de motores elétricos.** In: PROGRAMA DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. Rio de Janeiro: PROCEL, 1998. v.1, 161p.
- JANNUZZI, G. de M.; SWISHER, J. N. P. **Planejamento integrado dos recursos energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis.** 1. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 1997. 246p.
- KEPLER, E. A. **Transportadores e máquina de limpeza.** Panambi, RS: Kepler-Weber S.A., 1975. 16p.
- LATORRE, C. DE F.; NOBRE, E. C.; BURGOA, J.A.; **Diagnóstico do potencial de conservação de energia na indústria.** In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 1, 1990. Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, 1990. v.l. 3.
- LOPES, R. P.; AFONSO, A. D. L.; SILVA, J. de S. Energia no pré-processamento de produtos agrícolas. In: SILVA, J. de S. e (Ed.), **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas.** Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. Cap. 8, p.191-217.
- LOW, S.; **1992 Industrial sector End-use forecast, Main Report,** Ontario Hydro, Toronto, 1993.
- PINHEIRO, S.F; **Conservação de energia elétrica: recurso energético planejado.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 1, 1986. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: v.l. 3, p. 95-108.

SILVA, J. de S.; LACERDA FILHO, A. F. de; VIEIRA, G. Manuseio de grãos. In: SILVA, J. de S. e (Ed.), **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. Cap. 12, p279-305.

WEG S.A., **Catálogo Eletrônico 2000**. Jaraguá do Sul (<http://www.weg.com.br>), data da consulta: 01 jul. 2001.

2. RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA OBTENÇÃO DE FORÇA MOTRIZ EM FÁBRICA DE RAÇÃO - ESTUDO DE CASO

RESUMO

Embora o insumo hidroeletricidade (eletricidade de fonte hidráulica) seja uma fonte de energia renovável, a industrialização e o crescimento econômico, associados às crescentes inovações tecnológicas dos últimos anos, vêm causando aumento substancial na demanda e no consumo de energia. A falta de investimento no setor energético, aliado à escassez de recursos naturais, tornam a racionalização do uso de energia elétrica uma ferramenta de apoio imprescindível para o crescimento do País. A rentabilidade dos sistemas de criação de suínos e aves está, fortemente, relacionada à seu custo de produção. A ração animal pode representar entre 70 a 80 % do custo de produção desta atividade. No Brasil, as rações de suínos e aves são formuladas, basicamente, a partir de milho, farelo de soja, suplementos de minerais e vitaminas, sendo que o milho representa, aproximadamente, 75 % da composição das rações de suínos e 65 % das rações de aves. Portanto, o estudo da racionalização de energia é importante em processos que utilizam força motriz, tal como as fábricas de ração, instalações onde se processam as rações utilizando motores elétricos. Os motores mais importantes, em termos de consumo de energia elétrica, são o do moinho, do misturador, do exaustor e do sistema de transporte. Com o objetivo de racionalizar o uso da energia elétrica, realizou-se um estudo de adequação de força motriz dos equipamentos em funcionamento, da fábrica de ração da Universidade Federal de

Viçosa (UFV). Fez-se a avaliação do índice de carregamento e do rendimento dos motores, para a condição de carga de serviço. A avaliação do rendimento dos motores elétricos foi determinada por meio da medição das correntes elétricas de cada fase do motor. De posse das correntes elétricas do motor, trabalhando à plena carga, e de seus dados de placa, determinou-se o índice de carregamento (IC). Utilizando o IC e as curvas características dos motores elétricos, determinou-se o rendimento. Para adequação do uso de força motriz, consideraram-se substituições de motores elétricos. As principais opções foram: (i) substituição do motor padrão de 36,80 kW (50 cv) do moinho por um motor de alto rendimento de 18,40 kW (25 cv), adequado à condição de carga com número de horas de funcionamento anual maximizado de 1.500 para 3.000 h, proporcionando uma economia, em gastos de energia elétrica anual de 22,90 %; (ii) substituição do motor padrão de 14,72 kW (20 cv) do misturador por um motor de alto rendimento, de 5,52 kW (7,50 cv), adequado à condição de carga proporcionando uma economia em gastos de energia elétrica anual de 23,50 %; (iii) substituição do motor padrão de 11,04 kW (15 cv) do exaustor por um motor de alto rendimento, 2,94 kW (4 cv), adequado à condição de carga com número de horas de funcionamento anual maximizado, proporcionando uma economia em gastos de energia elétrica anual de 18,40 %; (iv) substituição do motor padrão de 5,52 kW (7,50 cv) do sistema de transporte por um motor de alto rendimento, de 1,47 kW (2 cv), adequado à condição de carga com número de horas de funcionamento anual maximizado, proporcionando uma economia em gastos de energia elétrica anual de 25,18 %. O potencial total estimado de economia com energia elétrica anual seria de 22,60 %, R\$ 1.728,28 (taxa de câmbio oficial, 1US\$ = R\$ 2,75), caso fosse realizado o aumento do número de horas de funcionamento anual, e a adequação de força motriz com o uso de motores de alto rendimento. Para que estas medidas sejam efetivadas, deve-se adequar também: (i) as exigências eletromecânicas do moinho; e (ii) o horário de funcionamento da fábrica de ração.

PALAVRAS-CHAVE: gerenciamento do lado da demanda, motor elétrico, economia de energia elétrica.

2.1 INTRODUÇÃO

A industrialização e o crescimento econômico, associados às crescentes inovações tecnológicas dos últimos anos, vêm causando aumento substancial na demanda de energia elétrica. A falta de investimentos no setor visando à geração, transmissão e distribuição de energia, fazem da racionalização do uso de energia elétrica uma ferramenta de apoio imprescindível ao crescimento do País.

O planejamento energético tradicional procura expandir os recursos da oferta de energia elétrica com o propósito de atender, com segurança, principalmente, os critérios de crescimento de demanda futura e minimizar o custo da expansão. Esses critérios de planejamento tradicional, aliados ao baixo custo de energia praticado até a década de 70, levaram à estratégia, quase universal, da rápida expansão da capacidade geradora, sem uma preocupação explícita com o crescimento da demanda, dando pouca ênfase à eficiência do uso energético.

Com a crise do petróleo em 1973, o planejamento energético passou a contemplar opções de gerenciamento do lado da demanda (GLD) em virtude do alto custo da energia. O planejamento energético passou a ser integrado, englobando os recursos energéticos e o uso final da energia. Este modelo tem sido denominado Planejamento Integrado de Recursos (PIR). O PIR combina opções de tecnologia de oferta de eletricidade e melhoria da eficiência energética, para prover serviços de energia elétrica com menor custo, incluindo a contabilização dos custos social e

ambiental. Segundo JANNUZZI e SWISHER (1997), o PIR inclui opções de gerenciamento do lado da demanda (GLD) e do lado do suprimento (GLS).

O GLS visa racionalizar o uso da energia elétrica pelo lado do suprimento de energia, englobando medidas como a construção e ampliação de unidades geradoras, subestações e linhas de transmissão. O GLD atua, diretamente, na curva de carga de uma determinada concessionária de energia elétrica. Como exemplos de ações do GLD, para diminuição da demanda de pico, citam-se: (i) o uso de equipamentos mais eficientes; (ii) o remanejamento de cargas; e (iii) o controle direto de cargas.

De acordo com PINHEIRO (1986), a Eletrobrás estudou quatorze opções de GLD de energia elétrica, que incluem: (i) aumentar a eficiência de refrigeradores e ar condicionado; (ii) substituir lâmpadas incandescentes por fluorescentes comuns, ou compactas e incandescentes do tipo econômico; (iii) substituir lâmpadas de vapor de mercúrio por lâmpadas de vapor de sódio; (iv) substituir motores elétricos do tipo padrão por modelos de alto rendimento; e (v) adequação da força motriz. A adequação de força motriz foi a opção de menor custo, dentre as pesquisadas, ou seja, aquela cujo custo é inferior a sete por cento, de um centavo por kWh economizado.

Os principais usos finais da energia elétrica são o aquecimento, a iluminação e força motriz. Segundo LOW (1993), no Canadá, a força motriz é responsável por cerca de 75 % do uso final de energia elétrica utilizada no setor industrial.

No setor industrial brasileiro, o uso de motores para força motriz representa, praticamente, metade do consumo de energia elétrica no País, aproximadamente 49 % do consumo no setor (ELETROBRÁS, 1998).

LATORRE et al. (1990), em estudos sobre o uso de força motriz nas indústrias brasileiras, abrangendo cerca de 50.000 motores, concluíram que cerca de 50 % dos motores operavam com índice de carregamento abaixo de 80 %, ou seja, o percentual de energia mecânica demandada pela carga era, em 50 % dos casos, inferior ao recomendado. Ressalta-se, neste caso, que para motores com partida sem carga, são recomendados índices de carregamento entre 80 a 100 %. Constatou ainda, que cerca de 24,1 % do total de motores analisados, em nível nacional, estavam operando com 60 % de carregamento, no máximo.

Este estudo revelou que, em alguns estados brasileiros, os motores possuem índices de carregamento menores que a média nacional, sendo que em alguns estados, 32,1 % dos motores operam com até 60 % da carga. Este fato caracteriza o grande potencial de racionalização do uso de energia elétrica, no setor industrial brasileiro. Esta

racionalização do uso de força motriz poderá ser alcançada por meio de uma maior difusão do uso de motores de alta eficiência e um dimensionamento correto de motores elétricos, pela realização de testes e emissão de certificados e avaliação de desempenho de máquinas agrícolas.

Segundo CASP (1980), na criação de animais em escala industrial, um dos fatores determinantes na maximização do lucro é, sem dúvida, a racionalização da alimentação. Observa-se que a alimentação representa, aproximadamente, 75 % do custo contínuo de um plantel, incluindo o custo de energia, enquanto 15 % são custos relativos à depreciação e 10 % referentes à mão-de-obra.

No Brasil, as rações para suínos e aves são formuladas, basicamente, a partir de milho, farelo de soja e suplementos de minerais e vitaminas, sendo que o milho representa, aproximadamente, 75 % da composição das rações para suínos e 65 % das rações para aves. As rações para suínos e aves são produzidas na forma farelada, peletizada ou triturada, de acordo com a espécie, a idade, o estágio evolutivo do animal e, ou o manejo de alimentação adotado. Portanto, os ingredientes que participam da ração necessitam sofrer algum processo prévio de moagem (ZANOTTO et al., 1995).

É importante aumentar a taxa de conversão, isto é, converter o mínimo de ração no máximo de ganho de produção animal. A conversão alimentar é definida como sendo a razão entre o peso de alimento e a quantidade de produto convertida num intervalo de tempo (CASP, 1980).

Portanto, o estudo da racionalização do uso de energia é importante em processos que utilizam a força motriz, como em instalações onde se processam as rações, utilizando-se motores elétricos. Em uma fábrica de ração, existem vários motores em funcionamento, tais como os do sistema de moagem de granulados e do sistema de movimentação dos componentes, misturador e pré-misturador.

Dentre as opções de GLD, a racionalização do uso de força motriz tem sido relegada, em muitos casos, a segundo plano, por razões desconhecidas. Destaca-se, aqui, o fato de não se dispor de metodologias que sistematizem o uso de tração elétrica e, ainda, a não integração de programas computacionais de curvas características de motores elétricos, planilhas de cálculo e programas de digitalização de curvas. Como exemplo, cita-se a não integração dos programas de dimensionamento de bombas e ventiladores, com os de adequação de força motriz.

2.2 OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivos:

- propor uma metodologia para racionalização do uso de energia elétrica para a produção de força motriz; e
- apresentar, como estudo de caso, uma análise da fábrica de ração da Universidade Federal de Viçosa.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na fábrica de ração do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, (UFV), em Viçosa – MG, (Figura 2.1). Esta fábrica tem uma capacidade de 6,0 t/h e é aparelhada com os seguintes equipamentos:

- (a) sistema de moagem com moinho do tipo martelo;
- (b) sistema de dosagem automática para cinco componentes de ração, sendo o restante dosado no pré-misturador;
- (c) sistema de mistura, de ensaque, a granel e peletizado; e
- (d) transportadores de grãos, farelos e rações.



Figura 2.1. Vista da fábrica de ração da Universidade Federal de Viçosa.

A Figura 2.2 mostra alguns equipamentos da fábrica de ração, ou seja, o sistema de transporte, o moinho principal, o misturador e o exaustor. Observa-se que os

equipamentos não possuem aparatos de segurança das correias de acionamento, o que pode ocasionar acidentes durante a operação.

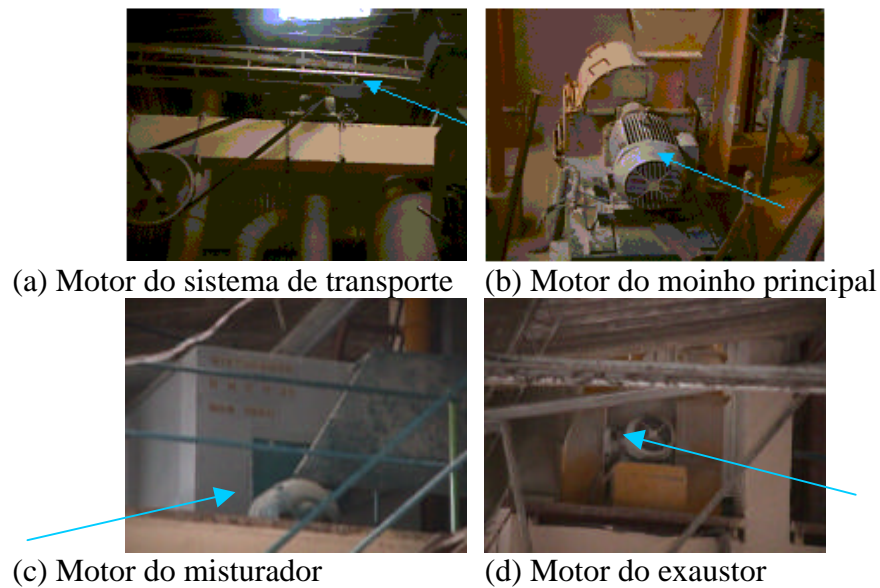


Figura 2.2. Vista de alguns equipamentos da fábrica de ração.

2.3.1 Adequação de força motriz

Para a adequação de força motriz, é importante que se faça a avaliação do índice de carregamento e do rendimento do motor na condição de carga atual. O rendimento atual do motor elétrico pode ser determinado de forma direta ou indireta. De forma direta, é necessária a medição da rotação e do torque. A potência demandada é determinada pela equação

$$P_d = T_d \omega \quad (2.1)$$

em que

$$\begin{aligned} P_d &= \text{potência demandada, W;} \\ T_d &= \text{torque, Nm; e} \\ \omega &= \text{velocidade angular, rad/s.} \end{aligned}$$

A velocidade angular é, diretamente, proporcional à rotação e pode ser expressa pela equação

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} \quad (2.2)$$

em que

w = velocidade angular, rad/s; e

n = rotação, rpm.

A avaliação indireta do índice de carregamento pode ser feita de diversas formas: (i) pela medição da corrente elétrica do estator; (ii) pela medição do fator de potência; e ou (iii) pela medição do escorregamento.

A avaliação do índice de carregamento poderá ser feita também, indiretamente, pela estimativa da carga mecânica, sendo que a determinação do rendimento por meio da medição da corrente elétrica é mais utilizada por ser a mais simples (SÁ et al., 1990).

Para medição da corrente elétrica dos motores foi utilizado um amperímetro alicate. De posse das correntes elétricas do motor trabalhando com o carregamento de serviço diário e seus dados de placa, determinou-se o índice de carregamento (IC), que é a razão entre a potência real e a potência nominal, por meio da curva característica de corrente. Com o IC, determinou-se o rendimento por meio da curva característica de rendimento (WEG, 2001). Na determinação do rendimento de motores elétricos, deve-se também considerar o desbalanceamento entre tensões, o nível de tensões e se o motor já foi rebobinado; haja vista a grande influência desses fatores no rendimento dos motores elétricos (ELETROBRÁS, 1998). Para considerar a influência do rebobinamento e, ou do reparo do motor em seu rendimento deve-se utilizar um percentual de depreciação no rendimento do motor elétrico, (COSTA, et al., 1998). Neste trabalho, não foram considerados os efeitos do rebobinamento, nem de reparos do motor elétrico (ELETROBRÁS, 1998).

As opções para adequação do uso de força motriz foram:

- (a) substituição do motor padrão (PD) em uso, versus motor em uso, tipo padrão adequado à condição de carga;
- (b) substituição do motor padrão (PD) em uso, versus motor novo de mesma potência de alto rendimento (AR);
- (c) substituição do motor padrão (PD) em uso, versus motor novo de alto rendimento (AR) adequado à condição de carga; e
- (d) aumento do número de horas de funcionamento anual.

A Figura 2.3 apresenta o fluxograma simplificado da metodologia para adequação de força motriz. Para cada situação, são analisados os dados de entrada para a realização da análise econômica, tais como: número de horas anuais de

funcionamento; vida útil; taxa de juros; aumento do preço da energia acima do índice da inflação, observada durante o horizonte de planeamento; preço do consumo e demanda; e período do dia para efeito de cálculo de tarifas.

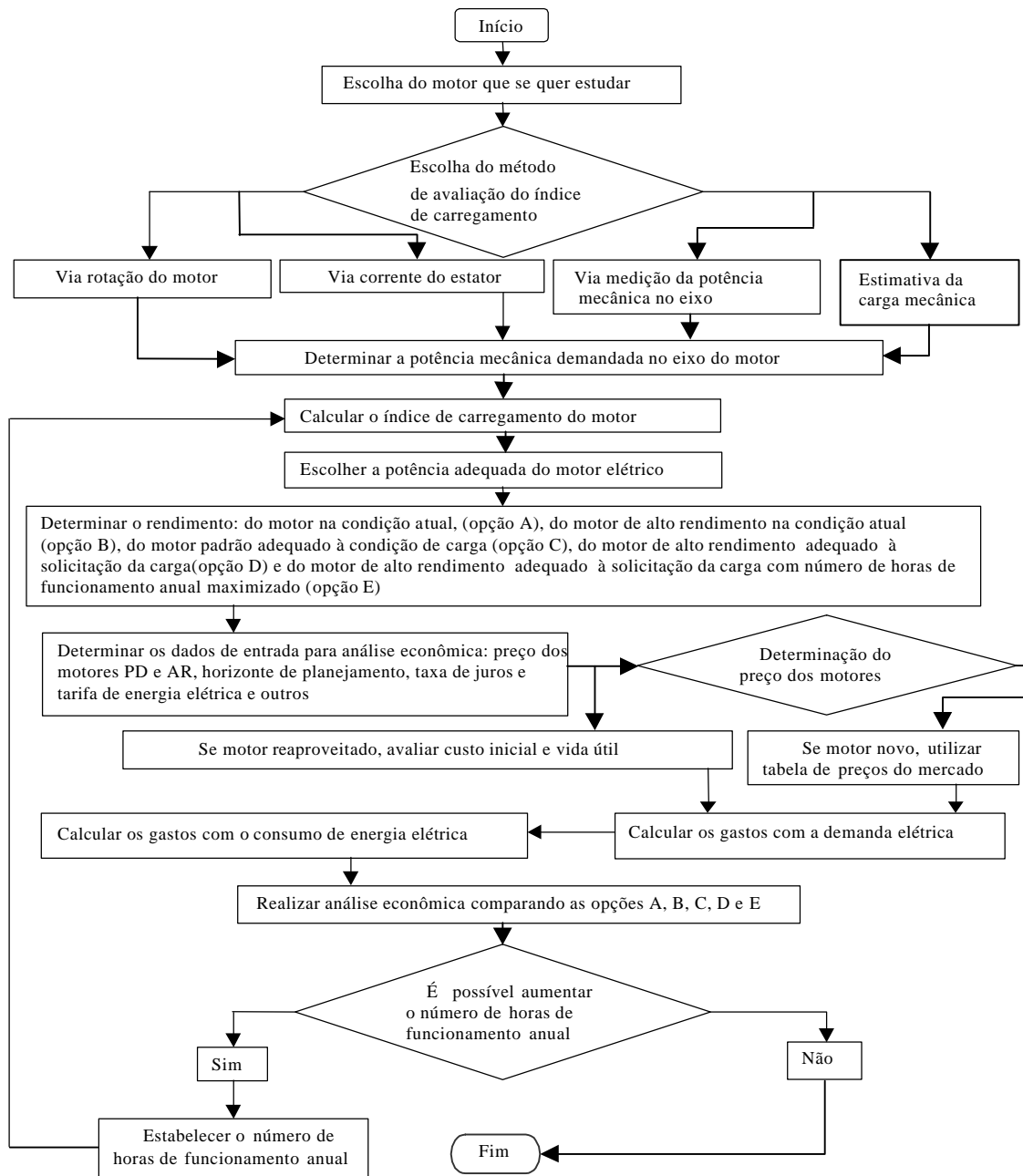


Figura 2.3. Fluxograma para adequação de força motriz.

A equação 2.3 apresenta a variação de rendimento dos motores elétricos, em uma possível troca entre um motor padrão e um motor de alto rendimento

$$\Delta\zeta = \frac{1}{\zeta_1} - \frac{1}{\zeta_2} \quad (2.3)$$

em que

- $\Delta\eta$ = variação de rendimento, %;
- η_1 = rendimento do motor padrão, %; e
- η_2 = rendimento do motor de alto rendimento, %.

a) Motor padrão versus motor padrão adequado à condição de carga em uso

Os Quadros 2.1 e 2.2 exemplificam a metodologia utilizada para adequação de força motriz de um motor padrão em funcionamento por outro padrão adequado à condição de carregamento, em uso.

Quadro 2.1. Comparação entre a substituição de um motor padrão em uso por um motor padrão adequado à condição de carga em uso

Parâmetros avaliados (motor padrão)	Valores
Potência	55,20 kW (75 cv)
Índice de carregamento	80 %
Rendimento	91,5 %
Resultados (motor padrão adequado à condição de carga)	
Potência	55,2 x 0,8 = 44,20 kW (60 cv)
Motor escolhido	60 cv
Índice de carregamento	60 / 60 = 100 %
Rendimento	91,20 %

Na escolha da potência mecânica requerida, a potência de 44,20 kW (60 cv) é o valor comercial da potência de motores. Neste caso, o motor a ser adotado seria um motor de potência igual a 44,20 kW (60 cv). Então, o IC do motor seria 100 %, aplicando-se a equação 2.3, observou-se uma perda de 0,36 % no rendimento do sistema, em relação ao uso do motor padrão, mas com 11,00 kW (15 cv) de potência mecânica requerida a menos. Portanto, a diferença de custo entre os motores deve ser compensada pela diminuição da potência requerida. Este dado afeta também a corrente de partida do motor que, neste caso, é menor.

Quadro 2.2. Comparação entre a substituição de um motor padrão em uso por um motor padrão adequado à condição de carga em uso

Parâmetros avaliados	Resultados
Potência do motor	73,00 kW (100 cv)
IC do motor	42 %
Rendimento do motor	87,50 %
	Resultados
Potência demandada do motor	$73,60 \times 0,42 = 30,90$ kW (42 cv)
IC do motor escolhido	$42 / 50 = 84$ %
Rendimento do motor	91,5 %

Como a potência de 30,9 kW (42 cv) não é um valor comercial de potência de motores elétricos, deve-se escolher o valor mais próximo de potência acima da selecionada. Neste caso, o motor a ser selecionado é um motor com potência de 36,80 kW (50 cv). O IC, neste caso, será a razão entre a potência do motor adequado ideal 30,91 kW (42 cv) e o valor disponível comercialmente 36,80 kW (50 cv). Então, o IC é igual a 84 %. Nesta substituição, haverá um ganho de 5,00 % no rendimento do sistema, pela aplicação da equação 2.3.

A análise é feita baseando-se em parâmetros técnicos e econômicos, considerando-se a troca de um motor padrão em uso, por um outro padrão, em uso, adequado à nova condição de carga e potência.

Esta situação pode ocorrer, quando há remanejamento de motores internamente, disponibilizando alguns motores do tipo padrão, que podem ser adequados em outras condições de uso. Com esta opção, o investimento em novos motores adequados será nulo ou reduzido.

O simples remanejamento interno dos motores pode realizar grande parte da adequação de força motriz de uma indústria com a utilização de seus próprios motores, com a vantagem que agora estarão instalados os motores de potência adequada para as respectivas máquinas.

Deve-se considerar que, na compra de novos motores, existem programas governamentais que dão subsídios para a aquisição de motores eficientes, como é o caso do PROCEL da ELETROBRÁS. Com isso, o investimento em novos motores torna-se viável, na maioria das vezes.

b) Motor padrão em uso versus motor novo de mesma potência de alto rendimento

A análise baseia-se em parâmetros técnicos e econômicos para se efetuar a troca de um motor padrão, em funcionamento, por um motor de alto rendimento novo, ambos de mesma potência e índice de carregamento. O Quadro 2.3 exemplifica a metodologia utilizada na adequação de força motriz de um motor padrão em funcionamento por um motor de alto rendimento (AR) novo.

Quadro 2.3 Comparação entre a substituição de um motor padrão por outro motor de alto rendimento de mesma potência

Parâmetros avaliados (motor padrão)	Valores
Potência	55,20 kW (75 cv)
Índice de carregamento	80 %
Rendimento	91,80 %
Resultados (motor de alto rendimento)	
Potência	55,20 kW (75 cv)
Índice de carregamento	80 %
Rendimento do motor de alto rendimento na condição de carga do motor padrão	93,80 %

Nesta situação, como 55,20 kW (75 cv) é o valor comercial de potência de motores, não é necessário aproximá-lo para outro valor mais próximo, acima da potência selecionada. A substituição do motor padrão pelo motor de alto rendimento proporcionará 2,3 % de ganho no rendimento do sistema, para as mesmas condições preestabelecidas.

Com os dados de entrada e os índices econômicos dos motores padrão e de alto rendimento, pode-se fazer a análise econômica desses motores em estudo e concluir qual deles é viável, economicamente, para o horizonte de planejamento considerado. Vale ressaltar que a diferença de custo, observada entre os motores, deve ser compensada pela maior eficiência do uso de motores de alto rendimento, no horizonte de planejamento estudado.

c) Motor padrão em uso versus motor de alto rendimento novo, adequado à condição de carga

A análise baseia-se nos parâmetros técnicos e econômicos considerados ao efetuar a troca, de um motor padrão em funcionamento por outro motor de alto rendimento novo, adequado à nova condição de carregamento e potência. Os Quadros

2.4 e 2.5 exemplificam a metodologia utilizada para adequação da força motriz de um motor padrão, em uso, por outro motor de alto rendimento novo adequado à condição de carga.

Quadro 2.4. Comparação entre a substituição de um motor padrão por um motor de alto rendimento adequado à carga

Parâmetros avaliados (motor padrão)	Valores
Potência	55,20 kW (75 cv)
Índice de carregamento	80 %
Rendimento	91,50 %
Resultados (motor de alto rendimento adequado a condição de carga)	
Potência	$55,20 \times 0,80 = 44,2$ kW (60 cv)
Índice de carregamento	$60 / 60 = 100$ %
Rendimento	93,5 %

Como 44,20 kW (60 cv) é valor comercial de potência de motores, não é necessário ajustar para o valor mais próximo de potência acima da selecionada. A potência demandada para realização do mesmo serviço foi reduzida de 55,20 kW (75 cv) para 44,20 kW (60 cv), proporcionando uma diminuição de 11 kW (15 cv) demandados, com um ganho de cerca de 2,30 % no rendimento do sistema.

Quadro 2.5. Comparação entre a substituição de um motor padrão em uso por um motor de alto rendimento adequado a condição de carga

Parâmetros avaliados (motor padrão)	Valores
Potência	73,60 kW (100 cv)
Índice de carregamento	42 %
Rendimento	87,50 %
Resultados (motor de alto rendimento adequado a condição de carga)	
Potência	$73,60 \times 0,42 = 30,90$ kW (42 cv)
Como 42 cv não é valor comercial de potência de motores - aproximar para o valor mais próximo de potência acima da selecionada	36,80 kW (50 cv)
Índice de carregamento	$42 / 50 = 84$ %
Rendimento	92,80 %

Como na escolha da potência mecânica requerida, a potência de 30,9 kW (42 cv) não é valor comercial de potência de motores, deve-se ajustar para o valor mais próximo da potência acima da selecionada; neste caso, o motor a ser adotado é um motor com potência igual a 36,80 kW (50 cv). O IC é calculado, levando-se em consideração a

potência do motor adequado ideal e o mais próximo vendido comercialmente. Então, o IC do motor seria 84 %, com um ganho de 6,50 % no rendimento do sistema. A diferença de custo dos motores deve ser compensada pela maior eficiência do uso de motores de alto rendimento e da diminuição da potência requerida.

d) Motor padrão, em uso, versus motor adequado à condição de carga, com número de horas de funcionamento anual maximizado

O Quadro 2.6 apresenta a metodologia utilizada para substituição de um motor padrão por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga, com o número de horas de funcionamento maximizado

Quadro 2.6. Comparação entre a substituição de um motor padrão em uso por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga com número de horas de funcionamento anual maximizado

Parâmetros avaliados (motor padrão)	Valores
Potência	73,60 kW (100 cv)
Índice de carregamento	85 %
Número de horas de funcionamento anual	1.500 h
Rendimento	92,20 %
Resultados (motor de alto rendimento adequado e otimizado)	
Número de horas de funcionamento anual	3.000 h
Potência	$73,60 (1.500/3.000) = 36,80$ kW (50 cv)
Motor escolhido	50 cv
Índice de carregamento	85 %
Rendimento	93,20 %

Nesta análise, houve a otimização do horário de funcionamento anual. Sendo assim, considerou-se que o aumento no número de horas de funcionamento anual foi proporcional à diminuição da potência mecânica requerida. Como o aumento no número de horas de funcionamento anual foi de duas vezes, reduziu-se a potência à metade.

A potência mecânica requerida de 36,80 kW (50 cv) corresponde ao valor comercial de potência dos motores. Neste caso, o motor adotado foi o de potência igual a 36,80 kW (50 cv), com IC de 85 %, com um ganho de 1,20 % no desempenho em relação ao motor padrão, mas com diminuição da potência mecânica requerida de 73,60 kW (100 cv) para 36,80 kW (50 cv). Nesta situação, uma análise da mão-de-obra deve ser feita, pois, com a otimização do número de horas de funcionamento anual, poderá haver maior demanda de mão-de-obra.

É necessário um estudo detalhado sobre as implicações da maximização do número de horas de funcionamento anual, pois, o rendimento da carga, em geral, não é constante, podendo ocorrer aumento no consumo de energia elétrica. Estudos se fazem necessários para determinar se os ganhos com a diminuição da demanda compensarão o possível aumento no consumo de energia elétrica e de mão de obra (CAMPANA, 2000).

2.3.2 Análise econômica

Na análise econômica da racionalização do uso de força motriz, utilizam-se parâmetros econômicos, tais como taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VPL), relação benefício-custo (RBC) e taxa de retorno do capital (TRC). Para cada motor, os seguintes dados de entrada foram analisados para efeito da análise econômica: número de horas de funcionamento anual; vida útil; taxa de juros; aumento no preço da energia, acima da inflação; horizonte de planejamento; preço do consumo e da demanda de energia elétrica, no horário de ponta e fora de ponta; preço dos motores; e custo de manutenção.

O gasto com consumo de energia elétrica dos motores foi estimado, empregando-se a equação

$$C = \frac{0,736 P IC T_c h}{\zeta} \quad (2.4)$$

em que

C	=	gasto com consumo de energia elétrica, R\$/ano;
P	=	potência nominal do motor elétrico, cv;
0,736	=	fator de conversão de cv para kW;
IC	=	índice de carregamento do motor elétrico, %;
T _c	=	tarifa de consumo, R\$/ kWh;
h	=	número de horas de funcionamento anual, h; e
η	=	rendimento do motor elétrico, decimal.

O gasto com demanda de energia elétrica dos motores foi estimado por meio da equação

$$D = \frac{0,736 P IC T_d 12}{\zeta} \quad (2.5)$$

em que

D	=	gasto com demanda de energia elétrica, R\$/ano;
T _d	=	tarifa de demanda, R\$/ kW; e
12	=	número de meses do ano.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Quadro 2.7 apresenta informações características dos motores elétricos, em condição de funcionamento diário, na fábrica de ração. No Quadro 2.7, estão descritas as condições de trabalho dos motores e algumas características como o tipo de motor, rotação nominal, potência, horário de funcionamento diário, dentre outros.

Quadro 2.7. Levantamento de dados dos motores elétricos da fábrica de ração da UFV

Equipamento	Moinho principal	Misturador	Exaustor	Sistema de transporte
Fabricante	WEG	ARNO	WEG	ARNO
Número de pólos	2 pólos	6 pólos	2 pólos	4 pólos
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Fator de serviço	1,15	1,15	1,00	1,15
Potência (kW)	36,80 (50 cv)	14,70 (20 cv)	11,00 (15 cv)	5,50 (7,5 cv)
Classe de isolamento	B	B	B	B
Corrente nominal (A)	125 / 72	58 / 33,50	38 / 22	21,5 / 12,40
IP / IN	8	8,5	8	7
Tensão nominal (V)	220 / 380	220 / 380	220 / 380	220 / 380
Rendimento nominal (%)	92,20	89,00	89,50	88,50
Número de fases	3	3	3	3
Motor de indução tipo gaiola curto circuitado	Indução	Indução	Indução	Indução
Rotação (rpm)	3.560	880	3.500	1.730
Tipo de ligação do motor	Delta	Delta	Delta	Delta
Padrão ou Alto rendimento	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
Horário de funcionamento fora de ponta/dia (h)	8	8	8	8
Corrente em cada fase e sob carga (A)	125/ 130/ 125	38 / 39,50 / 39	20 / - / -	9,20 / 8,90 / 10,40
Forma de acoplamento	Direto	Polia / Correia	Polia / Correia	Polia / Correia
Vibração no motor	Não	Não	Não	Não

O Quadro 2.8, apresenta os índices econômicos utilizados para realização da análise econômica.

Quadro 2.8. Índices utilizados na análise econômica

Motor	Unidade	Motor padrão ou alto rendimento			
		36,80 (50 cv)	14,70 (20 cv)	11,00 (15 cv)	5,50 (7,5 cv)
Potência	kW	36,80 (50 cv)	14,70 (20 cv)	11,00 (15 cv)	5,50 (7,5 cv)
Índice de carregamento	%	106	48	42	10
Rendimento	%	91,80	86,20	84,90	63,10
Preço do motor	R\$	2.152,60	1.226,20	639,50	445,10
Número de horas de funcionamento anual	h		1.500		
Número de horas de funcionamento anual maximizado	h		3.000		
Juros (custo de oportunidade)	%/ano		8		
Valor de sucata no ano final da vida útil em relação a um motor novo	%		20		
Custo unitário da energia fora de ponta	R\$/kWh		0,05		
Custo unitário da demanda fora de ponta	R\$/kW		4,90		
Aumento do preço da energia acima da inflação	%/ano		2		
Manutenção	%		1		
Horizonte de planejamento	ano		10		

No Quadro 2.8 são descritas as informações necessárias para realização da análise econômica dos motores elétricos, para melhor opção de troca, tais como preço do motor, taxa de atratividade de investimento, número de horas de funcionamento anual, rendimento e índice de carregamento em plena carga, dentre outras.

Com os dados dos Quadros 2.7 e 2.8, foi possível realizar a análise econômica dos motores elétricos para a situação mais vantajosa de investimento. As siglas utilizadas nos Quadros de 2.9 a 2.12 são descritas a seguir.

- PD = motor padrão;
- PD AD = motor padrão adequado à condição de carga;
- AR = motor de alto rendimento;
- AR AD = motor de alto rendimento adequado à condição de carga; e
- AR AD/h = motor de alto rendimento adequado à condição de carga com número de horas de funcionamento anual maximizado.

Nos Quadros de 2.9, 2.10, 2.11 e 2.12, apresentam a análise econômica para a melhor opção de investimento, dentre as estudadas. O Quadro 2.9 apresenta a análise econômica para o motor do moinho principal.

Quadro 2.9. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do moinho principal

Motor tipo padrão do moinho							
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus Motor AR AD/h			
Consumo de energia elétrica	kWh/ano	63.489,60	63.263,10	Potência	kW (cv)	36,80 (50)	18,40 (25)
Demanda de energia elétrica	kW/ano	509,70	253,10	N.º horas	h/ano	1.500	3.000
Conta de energia	R\$/ano	5.628,80	4.341,10	Carga	%	106	106
Preço do motor	R\$	2.152,60	1.586,40	Rendimento	%	91,80	92,50
Economia anual com energia elétrica				R\$1.287,70 (22,9 %)			
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h		
VP (R\$/MJ)	0,0192	0,0192	0,0194	0,0194	0,0147		
Análise econômica	PD – PD AD		PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h		
VPL (R\$)	-		- 344,80	- 344,80	10.134,90		
TIR (%)	-		-7	-7	Não converge		
RBC	-		0,6	0,6	17,9		
TRC (ano)	-		Não Retornável	Não Retornável	Imediato		

De acordo com o Quadro 2.9, a melhor opção de troca de motores, dentre as opções estudadas, é a substituição do motor padrão atual de 36,80 kW (50 cv), com IC de 106 %, por um motor de alto rendimento com potência de 18,40 kW (25 cv), adequado à condição de carga com o número de horas de funcionamento anual maximizado, com IC de 106 %. Logo, a economia anual é de 22,90 %. Os parâmetros econômicos VPL de R\$ 10.134,90, TIR que não converge, RBC de 17,9 e TRC imediato reforçam a tomada de decisão.

De acordo com o Quadro 2.10, dentre as alternativas estudadas, a melhor opção de troca seria a substituição do motor padrão de 14,70 kW (20 cv), com IC de 48 % por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga de 5,50 kW (7,5 cv) com IC de 97,30 %. Logo, a economia anual seria de 23,50 %. Parâmetros econômicos como VPL de R\$ 2.437,70, TIR que não converge, RBC de 4,70 e TRC imediato reforçam a tomada de decisão por um motor de alto rendimento, adequado à condição de carga de 5,50 kW (7,5 cv).

Quadro 2.10. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do misturador

Motor tipo padrão do misturador							
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus Motor AR AD/h			
Consumo de energia elétrica	kWh/ano	12.292,30	12.106,90	Potência	kW	14,70 (20 cv)	5,50 (7,5 cv)
Demanda de energia elétrica	kW/ano	98,30	48,40	Horas anuais	h/ano	1.500	3.000
Conta de energia	R\$/ano	1.085,90	830,80	Carga	%	48	96
Preço do motor	R\$	1.136,20	850,60	Rendimento	%	86,20	87,50
Economia anual com energia elétrica (R\$)				R\$255,12 (23,5 %)			
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD		AR AD/h	
VP (R\$/MJ)	0,0211	0,0197	0,0228	0,0208		0,0158	
Análise econômica	PD – PD AD		PD – AR	PD – AR AD		PD – AR AD/h	
VPL (R\$)	504,50		- 533,00	548,40		2.437,70	
TIR (%)			- 22	Não converge		Não converge	
RBC	1,0		0,9	3,0		4,7	
TRC (ano)	Imediato		Não Retornável	Imediato		Imediato	

Quadro 2.11. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do exaustor

Motor tipo padrão do exaustor							
Dados		Motor PD	Motor AR AD	Motor PD versus Motor AR AD/h			
Consumo de energia elétrica	kWh/ano	8.192,20	8.809,50	Potência	kW	11,00 (15 cv)	2,90 (4 cv)
Demanda de energia elétrica	kW/ano	65,5	34,4	Horas anuais	h/ano	1.500	3.000
Conta de energia	R\$/ano	723,7	590,5	Carga	%	42	84
Preço do motor	R\$	592,5	342,3	Rendimento	%	84,90	86,20
Economia anual com energia elétrica (R\$)				R\$133,3 (18,4 %)			
Análise econômica	PD	PD ADQ	AR	AR ADQ		AR ADQ/h	
VP (R\$/MJ)	0,0206	0,0197	0,0217	0,0203		0,0153	
Análise econômica	PD – PD AD		PD – AR	PD – AR AD		PD – AR AD/h	
VPL (R\$)	371,60		95,00	240,00		1.274,40	
TIR (%)	Não converge		1	Não converge		Não converge	
RBC	1,5		0,3	4,3		4,7	
TRC (ano)	Imediato		Imediato	9		Imediato	

De acordo com o Quadro 2.11, a melhor opção de troca de motores, dentre as possíveis estudadas, é a substituição do motor padrão atual de 11,0 kW (15 cv), com IC de 42 %, por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga com o número de horas de funcionamento anual maximizado de 2,9 kW (4 cv), com IC de 84 %. Logo, a economia anual é de 18,4 %. Parâmetros econômicos como VPL de R\$ 1.274,4; TIR não-convergente; RBC de 4,7 e TRC imediato reforçam a tomada de decisão por um

motor de alto rendimento de 2,9 kW (4 cv), adequado à condição de carga com o número de horas de funcionamento anual maximizado.

Quadro 2.12. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do sistema de transporte

		Motor tipo padrão do sistema de transporte					
Dados		Motor PD	Motor AR	Motor PD versus Motor AR ADQ/h			
Consumo de energia elétrica	kWh/ano	2.345,9	2259,5	Potência	kW	5,52 (7,5 cv)	1,47 (2 cv)
Demanda de energia elétrica	kW/ano	18,8	9,04	Horas anuais	h/ano	1.500	1.500
Conta de energia	R\$/ano	115,9	155,1	Carga	%	22	82,50
Preço do motor	R\$	207,7	144,3	Rendimento	%	77,7	80,60
Economia anual com energia elétrica (R\$)				R\$52,2 (25,2 %)			
Análise econômica	PD	PD ADQ	AR	AR ADQ	AR ADQ/h		
VP (R\$/MJ)	0,0238	0,0207	0,0238	0,0219	0,0160		
Análise econômica		PD – PD ADQ	PD – ARP	PD – AR ADQ	PD – AR ADQ / h		
VPL (R\$)		290,8	6,50	286,20	707,30		
TIR (%)		Não converge	-	Não converge	Não converge		
RBC		1,17	-	1,67	2,35		
TRC (ano)		Imediato	Imediato	Imediato	Imediato		

De acordo com o Quadro 2.12, a melhor opção de troca de motores, dentre as alternativas estudadas, seria a substituição do motor padrão atual de 5,50 kW (7,5 cv), com IC de 22 %, por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga, com o número de horas de funcionamento anual maximizado de 1,47 kW (2 cv), com IC de 80,60 %. Logo, a economia anual seria de 25,20 %. Os parâmetros econômicos VPL de R\$ 707,32, TIR não-convergente, RBC de 2,4 e TRC imediato, reforçam a tomada de decisão.

O potencial total de economia de energia elétrica anual estimado foi de R\$ 1.728,30 (22,60 %), caso se faça o aumento do número de horas de funcionamento anual e a adequação de força motriz com o uso de motores de alto rendimento.

O estudo detalhado de adequação de força motriz deverá, contemplar também, o sistema de comando e proteção e o custo de instalação de motores elétricos, que não foram contemplados neste trabalho.

2.5 CONCLUSÃO

As principais conclusões desse trabalho foram:

- a metodologia de adequação de força motriz mostrou-se eficaz e de fácil manuseio;
- o potencial de redução nos gastos com energia elétrica, na fábrica de ração, por meio da adequação de força motriz, foi 22,60 %;
- as particularidades do processo, tais como as exigências eletromecânicas do moinho e o horário de funcionamento da fábrica de ração, permitem efetivar a substituição por motores adequados e mais eficientes;
- motores adequados e eficientes realizam o mesmo trabalho dos motores em funcionamento, demandando menor potência e economizando os gastos com energia elétrica;
- pode-se racionalizar o custo operacional e o uso da energia elétrica, substituindo-se o motor padrão de 36,80 kW (50 cv) por outro de alto rendimento, com potência de 17,40 kW (25 cv), alterando-se o número de horas de funcionamento anual de 1.500 horas para 3.000 horas, sem alterar a produção de ração diária.
- a alteração no número de horas de operação da fábrica implica em uma análise de impacto sobre o custo de mão-de-obra e encargos sociais, a fim de tornar a alternativa, economicamente, viável.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPANA, S. **Racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação tipo pivô central e aspersão convencional.** Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2.000. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- CASP S/A Indústria e Comércio; **Manual - fábrica de ração.** J.P: Casp, 1980. 18p.
- COSTA, J. M.; OLIVEIRA FILHO; D., TEIXEIRA, C. A. **Adequação de força motriz – Estudo de caso na fabricação de papel reciclado.** In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CONLADIS, 3, 1998. São Paulo. **Resumos...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1998.
- ELETROBRÁS - Guia operacional de motores elétricos. In: PROGRAMA DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. Rio de Janeiro: PROCEL, 1998. v.1, 161p.
- JANNUZZI, G. M.; SWISHER, J. N. P. **Planejamento integrado dos recursos energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis.** 1. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 1997. 246p.
- LATORRE, C. DE F.; NOBRE, E. C.; BURGOA, J. A. **Diagnóstico do potencial de conservação de energia na indústria.** In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 1, 1990. Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, 1990. v.l. 3.
- LOW, S., **1992 Industrial sector end-use forecast, Main Report,** Ontario Hydro, Toronto, 1993.
- PINHEIRO, S. F. **Conservação de energia elétrica: recurso energético planejado.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 1, 1986. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: v.l. 3, p. 95-108.

SÁ, J. S.; COGO, J. R.; ARANGO, H., Avaliação do rendimento de motores de indução trifásicos via medição de tensão e corrente no estator. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 1, 1990. Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, 1990. v.1. 3.

WEG, S. A. **Catálogo eletrônico 2000**. Jaraguá do Sul, RS. (<http://www.weg.com.br>), Data da consulta: 01/07/2001.

ZANOTTO, D., MONTICELLI, C., MAZZUCO, H., Implicações da granulometria de ingredientes de rações sobre a produção de suínos e aves. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO DE SUÍNOS E AVES, 1995. Campinas. **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição animal (CBNA), 1995. p.111–134.

3. RACIONALIZAÇÃO DO USO DE FORÇA MOTRIZ EM UMA FÁBRICA DE RAÇÃO DA EMPRESA PIF PAF ALIMENTOS – ESTUDO DE CASO

RESUMO

A industrialização e o crescimento econômico, associados às crescentes inovações tecnológicas dos últimos anos, vêm causando aumento substancial na demanda e no consumo de energia elétrica. Portanto, o estudo sobre a racionalização do uso de energia é importante em processos que utilizam intensivamente força motriz, tais como as fábricas de ração. Na fábrica de ração estudada, os motores elétricos são utilizados, principalmente, para moagem e mistura de granulados e transporte. Com o objetivo de racionalizar o uso da energia elétrica, foi feito um estudo de adequação de força motriz dos equipamentos da fábrica de ração da Indústria Pif Paf Alimentos, com capacidade de produção de 50 t/h e turno de trabalho de 12 h/dia. A fábrica está localizada na cidade de Visconde do Rio Branco, MG. Avaliaram-se o índice de carregamento e o rendimento dos motores para a condição de trabalho diária dos equipamentos. A determinação do índice de carregamento (IC) dos motores foi feita por meio de medições da corrente elétrica média, trabalhando com plena carga, e de seus dados de placa. Utilizando-se o IC e as curvas características dos motores elétricos, determinou-se o seu rendimento dos mesmos. As seguintes opções de troca foram consideradas para adequação do uso de força motriz: (i) substituição de motor elétrico padrão, inadequado à condição de carga, por outro de mesma potência e de alto rendimento; (ii) substituição por um motor padrão adequado à condição de carga; (iii)

substituição por um motor de alto rendimento, adequado à condição de carga; e (iv) substituição por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga, com o número de horas de funcionamento anual otimizado. A avaliação da condição de carga dos motores foi feita, em regime de trabalho normal. Para cada um dos processos estudados, determinou-se o redimensionamento dos equipamentos, sob condições efetivas de trabalho, visando à racionalização. Utilizando a técnica de adequação de força motriz observou-se que a otimização do número de horas de funcionamento anual dos equipamentos proporcionou maior economia de energia elétrica. A avaliação dos equipamentos, considerando-se as condições efetivas de trabalho, mostrou que os motores dos transportadores de correntes estavam superdimensionados em 36,60 %, os helicoidais em 64,40 % e os elevadores de caçambas em 42,40 %. Comparando os resultados obtidos da adequação de força motriz com os resultados obtidos do redimensionamento dos transportadores da fábrica de ração, observou-se que ambos resultaram na mesma faixa de potência para os motores em estudo. No caso dos transportadores, o superdimensionamento médio foi de 47,60 %. A adequação de força motriz resultou em redução de 64,90 % na potência instalada de motores dos transportadores. O potencial estimado total de economia com energia elétrica anual, utilizando-se sempre a melhor opção de adequação de força motriz, foi de R\$ 24.426,50 ao ano (23,90 %). Para que estas medidas sejam efetivadas, deve-se adequar também: (i) as exigências elétricas do circuito, como ajuste de relés e escolha de fusíveis; (ii) o horário de funcionamento da fábrica; e (iii) necessidade de implantação de sistema de armazenamento de ração.

PALAVRAS-CHAVE: gerenciamento do lado da demanda, motor elétrico, economia de energia elétrica.

3.1 INTRODUÇÃO

Segundo a CALIBRAS (2001), os moinhos a martelos, recomendados tecnicamente, têm como principal característica a versatilidade, podendo ser equipados com motores de várias potências, resultando em aumento real de capacidade, sem prejudicar a qualidade da moagem. Os moinhos são montados sobre base única e têm seu rotor balanceado dinamicamente, apoiado em mancais adequados para serviço pesado. Estes moinhos são apresentados em duas grandes linhas: MOM e MMS. A principal característica visual entre as duas linhas está no projeto das portas.

Na linha MOM as portas permitem o deslocamento longitudinal, dando acesso total à parte interna da câmara de moagem. Na linha MMS, as portas são pivotantes, que permitindo a abertura tanto para a direita quanto para a esquerda. Esta facilidade é realmente útil, em algumas instalações. Em ambas as linhas, há o mesmo cuidado com itens, como: (i) velocidade periférica; (ii) área total perfurada; (iii) número de martelos; e (iv) espessura e comprimento dos martelos. Estes itens contribuem para que os moinhos apresentem uma melhor relação entre potência e capacidade produzida.

Como é possível a realização da troca rápida do rotor, pode-se retirar e montar o rotor, o que permite grande economia de tempo em caso de manutenção.

Devido à possibilidade de inversão do sentido de alimentação, é possível utilizar duas faces do martelo sem a necessidade de abertura da câmara de moagem, e ainda a bica de alimentação é dotada de placa magnética.

Pela sua conformação, existe uma maior área de tela destinada à passagem do material triturado. As duas telas envolvem o rotor, em cerca de 340°, assegurando uma

área de tela compatível com seu desempenho. A construção robusta diminui o desgaste, elimina a vibração e minimiza o índice de ruídos.

A transmissão é feita por meio da utilização de luva elástica para o acoplamento direto ao motor, permitindo uma melhor utilização da potência do motor. O Quadro 3.1 apresenta alguns modelos de moinhos a martelo, com as respectivas potências e capacidade de produção horária.

Quadro 3.1. Modelo de moinho a martelo com a respectiva potência e capacidade de produção horária

Modelo	Rotação rpm	Potência do Motor kW (cv)	Capacidade de produção t/h
MOM 9645	1800	128,8 (175)	26*

*Produção aproximada em t/h para milho limpo e seco com massa específica igual a 750 kg/m^3 , sistema de aspiração e tela com furo de 3,2 mm de diâmetro.

Fonte: CALIBRAS (2001).

O moinho utilizado na fábrica de ração tem potência igual a (128,8 kW) 175 cv do modelo MOM 9645 com capacidade aproximada de 26 t/h.

Os alimentadores dos moinhos a martelos têm como principal função a garantia de fluxo constante e homogêneo, evitando as indesejáveis oscilações de carga e conseqüentes perda de capacidade. Outra função importante consiste em proteger o equipamento contra a entrada de matérias ferrosos na câmara de moagem e suas conseqüências. Existem alimentadores do tipo EPM e ALM.

Os alimentadores do tipo EPM são feitos em uma esteira transportadora revestida por uma caixa metálica, equipada com polia magnética para promover a separação automática de materiais ferrosos.

O produto alimentar é direcionado para a boca de carga e os materiais ferrosos são direcionados para a boca de descarga de resíduos. O transporte de produto é feito através de correia de lona e borracha.

O alimentador do tipo ALM é rotativo e recoberto por uma caixa metálica com placa magnética para separação de materiais ferrosos. Transportado através de válvula rotativa, o produto é colocado em contato com a placa magnética, que retém os materiais ferrosos, deixando o produto livre de impurezas.

Opcionalmente, os alimentadores da linha ALM são dotados de limpeza automática da placa magnética, efetuada através de cilindro pneumático.

Os alimentadores são fundamentais nos processos de automação das estações de moagem. É por meio dos alimentadores que se estabelece o ritmo da alimentação e, portanto, a melhor utilização da potência instalada.

Segundo CALIBRAS (2001), os misturadores são projetados para obter uma perfeita homogeneização das partículas. Em alguns tipos de misturadores horizontais, o eixo de duplo helicóides, garante uma mistura homogênea, durante um ciclo de mistura de apenas 3,75 minutos. Apoiado sobre mancais dimensionados para serviço pesado, o eixo é montado em tubo <schedule> 60, 80 ou 120 dependendo do modelo. Suas helicóides, tanto a interna quanto a externa, são moldadas com todo cuidado de modo a permitir um desenvolvimento perfeito do processo de mistura. Construídos em barras de aço normalizado, os helicóides são projetados para um arraste balanceado, garantindo, assim, a qualidade da mistura. A câmara de mistura é construída em chapa de aço carbono com reforços em perfis laminados.

As principais características do moinho tipo Calibras são: (i) abertura total de câmara de descarga, acionada pneumáticamente, garantindo uma limpeza uniforme e não contaminação entre produtos; (ii) equalização da pressão interna entre a câmara de mistura e a de descarga, possibilitando uma descarga rápida (aproximadamente 30 segundos) sem os indesejáveis vazamentos de pó, provocados pelo aumento da pressão interna do sistema; (iii) sistema de transmissão é baseado em motoredução, engrenagens e corrente, que conferem, ao conjunto, uma boa relação entre carga e potência instalada; (iv) a rotação do eixo pode variar entre 18 e 23 rpm, dependendo do modelo; e (v) é projetado com, pelo menos, uma testeira móvel, o que facilita sobremaneira no caso de uma possível manutenção no eixo helicoidal. O Quadro 3.2 apresenta um modelo de misturador, com sua respectiva potência e volume útil.

Quadro 3.2. Características técnicas do misturador

Modelo	Volume útil (m ³)	Potência kW(cv)
MSH 4000	7,2*	29,4 (40)

* Potências calculadas para produtos com massa específica igual a 0,60 t/m³.

Fonte: (CALIBRAS, 2001).

O misturador utilizado na fábrica de ração tem potência igual a 29,44 kW (40 cv), com volume útil de mistura de 7,2 m³ para produtos com massa específica de 600 kg/m³.

Segundo CALIBRAS (2001), os transportadores dividem-se em quatro grandes linhas:

- (a) Elevadores de caçambas;
- (b) Transportadores de arrasto;
- (c) Transportadores helicoidais; e
- (d) Fitas transportadoras.

3.1.1 Elevadores de caçambas

Em geral, os elevadores de caçambas são construídos em chapa de aço carbono, mas poderão ser feitos de outros materiais, como o aço inoxidável, aço galvanizado, dependendo da utilização pretendida.

As diferentes espessuras de chapas são determinadas de acordo com a aplicação, dependendo da abrasividade do material a ser transportado.

Utilizações específicas determinam formas construtivas e utilizações de materiais, que deverão ser avaliadas, levando-se em conta o custo/benefício.

A capacidade de transporte de um elevador de caçambas é função da velocidade da correia e das dimensões e espaçamento entre as caçambas. Apesar do enchimento das caçambas normalmente ocorrer pelo lado da subida da correia, em algumas situações específicas ela poderá ocorrer pela perna de descida da correia, o que não é recomendável, pois há um maior desgaste das caçambas e da correia. O sistema de captação de pó é um item necessário a um elevador de caçambas, a sua instalação é recomendada por razões de segurança, especialmente para materias pulverulentos.

Para o manuseio de materiais muito leves e de difícil fluidez, é recomendado que o elevador opere em velocidade muito baixa e sejam utilizadas caçambas perfuradas para facilitar o carregamento.

O correto dimensionamento das polias é fator determinante em um projeto de elevadores de caçambas. A polia deverá ter largura e diâmetro suficientes para propiciar a área necessária de contato para transmissão de força. Polias pequenas ocasionam o deslizamento da correia e conseqüente desgaste excessivo, podendo ocasionar a queima da mesma.

Polias tipo gaiola são indicadas para equipamentos destinados ao transporte de produtos frágeis, como forma de evitar o esmagamento e a quebra do produto.

Algumas situações específicas, como a altura do equipamento, alta capacidade, produto com alto teor de óleo, determinam que a polia seja recoberta com borracha a

fim de evitar o deslizamento, e aumentando a aderência e a eficiência do contato com a correia. A seleção da correia é consequência direta da aplicação pretendida.

A capacidade e a altura do equipamento, o produto a ser transportado, a temperatura e o teor de óleo contido no mesmo determinam suas características e serão determinantes na especificação do número de lonas, recobrimento, espessura, dentre outros.

As caçambas normalmente são construídas em chapa de aço carbono, mas são encontradas também em aço inoxidável, aço galvanizado, plástico e PVC.

A utilização de um determinado material, assim como suas características especiais, tais como furos e número de parafusos de fixação, são determinadas pelas características do produto e do equipamento.

Os elevadores de caçambas são, normalmente, feitos com a base padrão. Este tipo de base permite o esticamento da correia por meio de parafusos esticadores, porém em razão de sua geometria, permanece geralmente com alguma quantidade de produto acumulada.

A base autolimpante é o opcional indicado, quando é necessário um controle absoluto sobre deposição de produto e não a contaminação entre eles. Este tipo de base permite não só o esticamento da correia, por meio de parafuso, mas também o ajuste da distância entre as caçambas e o fundo, propiciando uma limpeza perfeita.

Opcionalmente, há disponibilidade de aparatos que podem fazer este ajuste, automaticamente, sempre que existe necessidade de correção.

Segundo LACERDA FILHO et al. (1994), o dimensionamento do elevador de caçambas pode ser feito, conforme apresentado a seguir.

A rotação na polia do elevador de caçambas é dada pela equação

$$N = \frac{30}{\sqrt{r}} \quad (3.1)$$

em que

N = número de rotações, por minuto, da polia motora, rpm; e
r = raio efetivo da polia motora, m.

A velocidade linear das caçambas é dado pela equação

$$v = 2 \pi r N \quad (3.2)$$

em que

- v = velocidade linear das caçambas, m/min;
- r = raio efetivo da polia motora, m; e
- N = número de rotações por minuto da polia motora, rpm.

A capacidade do transportador é dada pela equação

$$Q = v n q \quad (3.3)$$

em que

- Q = capacidade do transportador, kg/min;
- v = velocidade linear das caçambas, m/min;
- n = número de caçamba por metro de correia, caçamba/m; e
- q = capacidade de cada caçamba, kg/caçamba.

A potência exigida para acionamento do elevador carregado é dada pela equação

$$P = 2,22 \cdot 10^{-4} (Q h) (F_a + 1) 0,736 \quad (3.4)$$

em que

- P = potência requerida, kW;
- h = altura de elevação do grão, m; e
- F_a = fator de segurança (de 10 a 15 %).

O comprimento da polia é dado pela equação

$$L = R_a + R_d + (2 \pi r) \quad (3.5)$$

em que

- L = comprimento total da correia, m;
- R_a = comprimento do ramo ascendente da correia, m; e
- R_d = comprimento do ramo descendente da correia, m.

3.1.2 Transportadores de arraste - tipo Redler

São largamente utilizados, no entanto, segundo alguns autores o transportador de arraste é o que mais danifica produtos agrícolas durante a operação.

Geralmente construídos em chapa de aço carbono, este transportador é constituído de uma caixa e uma corrente de paletas montadas sobre roletes contrapinados, que arrastam tracionadas por uma roda dentada seguindo um guia fixado na parte inferior da caixa.

Arrastando-se em baixa velocidade, a corrente arrasta o produto e mantém a limpeza do fundo. Basicamente, um transportador de corrente move-se em uma superfície, arrastando o material.

Quanto ao funcionamento, a semelhança entre o transportador de correia e o transportador de arraste é o fato que ambos serem sem-fim, mas diferem quanto ao modo de transportar o produto. As correias sem-fim carregam o material sobre a correia, enquanto o transportador de arrasto arrasta o material sobre uma superfície rígida.

Na maioria dos casos, peças retangulares de madeira ou metálicas são fixadas às correntes, aumentando o rendimento do transporte.

Quanto ao número de correntes, são classificados em:

- (a) corrente simples; e
- (b) corrente dupla.

Quanto à carga, os transportadores de corrente, são divididos:

- parte superior – utiliza o ramo superior da corrente para transporte; e
- parte inferior – utiliza o ramo inferior da corrente para transporte.

As principais características do transportador de arrasto são:

- (a) normalmente é ruidoso, principalmente quando comparado ao transportador de correia;
- (b) tem baixa eficiência mecânica;
- (c) possibilita o transporte de materiais diversos;
- (d) trabalha em baixa velocidade, conseqüentemente a capacidade é reduzida;
- (e) permite operar com inclinação maior do que aquela dos transportadores de correia, porém, ainda limitada. O Quadro 3.3 apresenta a variação de capacidade quanto ao transporte horizontal, em função da inclinação do transportador.

Quadro 3.3. Capacidade relativa do transportador versus inclinação do transportador

Inclinação do transportador	Capacidade em relação ao transporte horizontal (decimal)
20°	0,77
30°	0,55
40°	0,33

- (f) permite a carga em diversos pontos, ao longo do transportador; e
- (g) permite a descarga em diversos pontos, ao longo do transportador, por meio de escovas ou aberturas na superfície rígida.

Segundo KEPLER (1975), o dimensionamento de transportadores de arraste tipo Redler pode ser calculado, conforme as especificações, apresentadas a seguir. A capacidade do transportador é dada pela equação

$$Q = 3.600 S v C_i \quad (3.6)$$

em que

Q = capacidade do transportador, m³/h;
 S = seção transversal do transportador, m²;
 v = velocidade do transportador, m/s; e
 C_i = coeficiente que depende da posição do transportador.

C₁ = coeficiente para transporte na horizontal
 C₂ = coeficiente para transporte na vertical ou inclinado

O Quadro 3.4 apresenta o coeficiente para transporte horizontal e vertical, em transportadores de arraste para soja e milho.

Quadro 3.4. Coeficiente para transporte horizontal (C₁) e vertical (C₂) para soja e milho

Produto	C ₁	C ₂
Soja	1,10	1,40
Trigo	1,05	1,30

A potência demandada pelo transportador, na posição horizontal, é dada pela equação

$$P_a = 0,736 \left(\frac{Q L + 7,2 P}{270} \right) C_f \quad (3.7)$$

em que

P_a = potência requerida pelo transportador, kW;
 Q = capacidade do transportador, m³/h;
 L = comprimento do transportador, m;
 P = peso da corrente, kg/m; e
 C_f = coeficiente de fricção para os grãos transportados, decimal.

Os valores do coeficiente de fricção, para grãos, estão na faixa de 0,3 a 0,6. A

$$P_b = 0,736 \frac{Q h}{270} \quad (3.8)$$

potência demandada pelo transportador, na posição vertical, é dada pela equação

em que

- P_b = potência requerida pelo transportador, kW;
 Q = capacidade do transportador, m^3/h ; e
 h = altura de elevação, m.

3.1.3 Transportador helicoidal

Os transportadores helicoidais são indicados para a movimentação dos mais variados tipos de materiais. Grãos, farelos e outros tipos de matérias-primas são transportados por equipamentos, que usam helicóides como agente de transporte.

Devido sua durabilidade, resistência e praticidade, os transportadores helicoidais são uma das alternativas de transporte de grãos mais adotada.

Confeccionado normalmente em módulos, este tipo de transportador apresenta grande flexibilidade quanto ao posicionamento de bocas de descarga e de pontos de abastecimento.

Dependendo de sua utilização, as roscas têm perfil adaptado à opção de desempenho:

- (a) rosca montada em condutos do tipo calha, ou tubular - helicóide convencional: são as mais utilizadas no transporte da maioria de grãos, farelos, calcário, sal, cimento e uma infinidade de outros produtos;
- (b) rosca tipo calha - helicóide tipo fita: utilizada no transporte de materiais com tendência a aglutinar ao redor do eixo, pelo fato de serem pegajosos, muito finos ou de consistência pegajosa; e
- (c) rosca tipo calha - helicóide com borda recortada: indicadas para produtos que necessitam de uma ação complementar de mistura, durante o transporte. Podem ser montadas com aletas ou pás fixas ou reguláveis, que irão auxiliar no ato da mistura.

Trabalham com velocidades entre 200 a 800 rpm e são indicadas para produtos leves e delicados. As roscas são construídas em chapa de aço carbono e, opcionalmente, podem ser fornecidas em aço inoxidável e aço galvanizado.

Os transportadores de rosca helicoidal do tipo calha, e os do tipo tubular podem ser encontrados com diâmetros variando de 0,102 m a 0,711 m, atendendo a capacidades de 3 a 300 m^3/h .

Segundo LACERDA FILHO et al. (1994), o dimensionamento de transportadores helicoidais pode ser feito, conforme apresentado a seguir. A capacidade do transportador helicoidal, na posição horizontal, é dada por

$$Q = 47,1(D^2 - d^2)p N \quad (3.9)$$

em que

- Q = capacidade de transporte, m³/min;
- D = diâmetro do helicóide, m;
- d = diâmetro do eixo do helicóide, m;
- p = passo do helicóide, m; e
- N = número de rotações por minuto do eixo do helicóide, rpm.

A potência requerida do transportador helicoidal, na posição horizontal, é dada pela equação

$$P = 2,22 \cdot 10^{-4} (Q M_e L)(F_m + 1) 0,736 \quad (3.10)$$

em que

- P = potência requerida do transportador, kW;
- Q = capacidade de transporte, m³/min;
- M_e = massa específica do material, kg/m³;
- L = comprimento total do transportador, m; e
- F_m = fator que depende do material, adimensional.

3.1.4 Fita transportadora

As fitas transportadoras têm ampla utilização no transporte de minérios e cereais.

As principais vantagens do sistema são: danifica menos o produto transportado a longas distâncias; adapta-se aos perfis ideais de transporte de grãos; tem grande capacidade de transporte; aceita grande variedade de materiais granulados; tem movimento silencioso e suave; exige pouca manutenção; descarrega em qualquer ponto da trajetória; pode trabalhar nos dois sentidos e ser usado nos dois ramais simultaneamente.

São constituídos de calha de carga, roletes superiores nos perfis em “V”, carro de carga ou alimentadora, descarregador de percurso <tripper>, acionamento, rolo mestre, sistema de tensores automático, roletes inferiores, rolos inferiores no perfil plano, correia, estrutura e guias laterais da correia.

O sistema de tensionamento das correias pode ser constituído de parafusos na extremidade, tensor horizontal de carro e contrapeso e tensor vertical de contrapeso. O posicionamento de serviço pode ser horizontal, com inclinação máxima de 20°.

Os ramais do transportador são divididos em superior e inferior. No ramal superior, a estrutura é plana ou em "V", com 2 rolos, 3 rolos ou mais de 3 rolos, por metro. No ramal inferior, a estrutura é plana ou em "V", com 2 rolos e 3 rolos por metro.

O correia deve ter flexibilidade, bem como absorver e resistir a tensões e à corrosão (KEPLER, 1975).

Para melhor funcionamento do sistema, alguns cuidados deverão ser adotados: (i) as inclinações dos roletes devem variar entre 5 e 10°; (ii) no transporte de grãos a inclinação de 45° é muito utilizada para os roletes com espaçamentos iguais entre si. O espaçamento entre roletes é função da massa específica do material, da carga por unidade de comprimento e da catenária permitida; (iii) a catenária permitida entre roletes é, normalmente, de 2 a 3 %; (iv) para produtos agrícolas em geral, o espaçamento entre roletes é de 1 a 1,6 m, no ramo de carga, e 3 m no ramo de retorno; (v) a inclinação do transportador é função do tamanho, da forma e da fluidez das partículas e ângulo de repouso. Para partículas com características semelhantes àquelas dos grãos agrícolas secos e limpos, esta inclinação varia até o máximo de 20°; (vi) a velocidade de deslocamento da fita depende das características do material, da largura da fita e do ângulo de inclinação do transportador. Normalmente, as fitas com largura entre 0,4 e 1,5 m, transportando farelos e grãos, podem trabalhar com velocidade máxima de 90 e 240 m/min, respectivamente; e (vii) a largura da fita pode ser dimensionada por ajuste em uma tabela específica, em que a largura da fita é função do ângulo de sobrecarga, volume transportado na unidade de tempo, área da seção transversal e velocidade máxima admissível (LACERDA FILHO et al., 1994).

Segundo LACERDA FILHO et al. (1994), o dimensionamento da fita transportadora pode ser feito conforme se segue. O volume transportado pela fita pode ser estimado pela equação

$$V = A v \quad (3.11)$$

em que

- V = volume transportado, m³/h;
- A = área da seção transversal de produto transportado, m²; e
- v = velocidade máxima, m/h.

A potência total pode ser estimada pela equação

$$P_t = P_a + P_b + P_c \quad (3.12)$$

em que

- P_t = potência total estimada, kW;
- P_a = potência necessária para movimentação da fita sem carga, kW;
- P_b = estimativa da potência necessária para que a fita transporte o material na posição horizontal, kW; e
- P_c = estimativa da potência necessária para que a fita transporte o produto em posição inclinada, kW.

A estimativa da potência necessária para movimentação da fita sem carga pode ser estimada pela equação

$$P_a = 0,736 v_c L 1,292 (0,015 + 0,000328 c) \quad (3.13)$$

em que

- P_a = estimativa da potência necessária para movimentação da fita sem carga, kW;
- v_c = velocidade da correia, m/min;
- L = largura da correia, m; e
- c = comprimento do transportador, m.

A estimativa da potência necessária para a fita transportar o material na posição horizontal, pode ser estimada pela equação

$$P_b = 0,736 \frac{[M (0,48 + 0,0099 c)]}{100} \quad (3.14)$$

em que

- P_b = estimativa da potência necessária para que a fita transporte o material, na posição horizontal, kW; e
- M = massa de produto a ser transportado, t/h.

A estimativa da potência necessária para que a fita transporte o produto, na posição horizontal, pode ser estimada pela equação

$$P_c = 0,736 \frac{(3,33 h M)}{100} \quad (3.15)$$

em que

P_c = estimativa da potência necessária para que a fita transporte o produto em posição inclinada, kW;

h = altura de elevação, m; e

M = massa de produto a ser transportado, t/h.

Observou-se que, nas equações propostas para dimensionamento dos equipamentos, existem algumas constantes representando valores para ajuste das equações. No entanto, pode-se demonstrar pela dedução de algumas das equações, por exemplo, pela definição clássica de energia potencial gravitacional, que nas equações existe um coeficiente de segurança. Ao comparar a equação, gerada pela definição de energia potencial gravitacional, com a equação 3.8 que estima a potência demandada pelo transportador helicoidal, na posição vertical, verificou-se que existe um coeficiente de segurança de 2,78 na equação 3.8.

3.2 OBJETIVO

Este trabalho objetivou:

- aplicar a metodologia de racionalização do uso de força motriz para uma fábrica de ração comercial;
- analisar o dimensionamento de todos os equipamentos do sistema de transporte, sob o ponto de vista técnico;
- comparar os resultados da adequação de força motriz pela metodologia proposta com o dimensionamento técnico; e
- propor alternativas de dimensionamento, que possibilitem o uso racional de energia.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na fábrica de ração da empresa Pif Paf, localizada no município de Visconde do Rio Branco - MG (Figura 3.1). A empresa tem uma capacidade de produção de 50,0 t/h. Os equipamentos da fábrica de ração são apresentados a seguir.



Figura 3.1. Fábrica de ração da empresa Pif Paf.

- (a) Sala central de comando e proteção dos equipamentos de produção da fábrica de ração

Desta sala, que funciona dentro do setor de produção da fábrica de ração, pode-se controlar o acionamento de todos os equipamentos do setor de produção. Pode-se, ainda, controlar a dosagem, o tempo de descarga do silo pulmão e o tempo de moagem dos elementos componentes da ração (Figura 3.2).



Figura 3.2. Sala de controle e proteção da fábrica de ração.

- (b) Sistema de pesagem e descarga dos grãos

O sistema de pesagem é composto por uma balança rodoviária com cupom de pesagem automático. O sistema de descarga de grãos é composto por duas moegas, sendo que uma moega serve para descarga de milho e outra para soja. Em ambas as moegas, foram feitas comportas retangulares com dimensões de 20 x 50 cm e espaçamento linear de 3 cm, para regulação do fluxo de grãos. Para manter a carga constante, é necessário a regulação do fluxo de grãos. Para grãos com maior massa específica, haverá necessidade de um maior fechamento das comportas e vice-versa (Figura 3.3).



Figura 3.3. Moega de descarga de grãos.

(c) Sistema de armazenagem de grãos

O sistema de armazenagem de grãos é constituído por 26 silos e um armazém de alvenaria para soja. Dois silos são destinados à armazenagem de milho e seis para armazenagem de soja, fora da área de produção de ração. Existem ainda doze silos, na área de produção, e seis na área de expedição a granel. A capacidade dos silos é variável, sendo que o maior armazena até 1000 t e o menor 30 t (Figura 3.4).



Figura 3.4. Sistema de armazenagem de grãos.

(d) Sistemas de pesagem e dosagem automática

O sistema de pesagem e dosagem dos ingredientes da ração é automático e computadorizado e é feito por uma balança dosadora. O sistema pode dosar até sete elementos, farelo e gérmen de milho, farelo de soja, farinha de pena, farinha de vísceras, farinha de carne de suíno e farinha de carne de frango. No pré-misturador são dosados os micronutrientes (Figura 3.5).



Figura 3.5. Sistemas de pesagem e dosagem automática dos ingredientes da ração.

(e) Sistema de mistura

O sistema de mistura dos componentes das diversas rações é composto por misturador e silo pulmão, com capacidade para 4000 kg, que tem a abertura e fechamento de sua comporta pneumática controlado automaticamente por computador (Figura 3.6).



Figura 3.6. Sistema de mistura dos ingredientes da ração.

(f) Sistema de moagem de granulados

No fluxo de produção desta empresa, primeiramente todos os elementos da ração são dosados e pesados e são moídos conjuntamente. O sistema de moagem é composto de dois moinhos a martelos, sendo que cada máquina possui potência de 128,8 kW (175 cv) e produção de até 26 t/h (Figura 3.7).

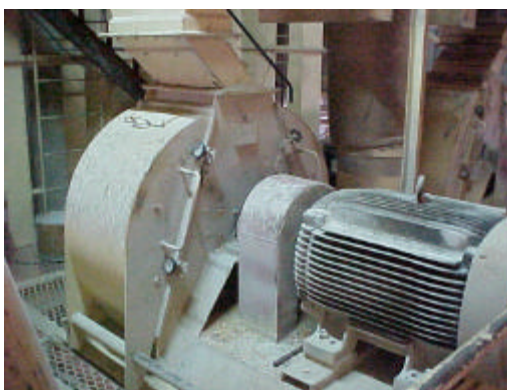


Figura 3.7. Sistema de moagem dos ingredientes da ração.

(g) Sistema de expedição a granel

O sistema de expedição a granel descarrega diretamente em caminhões de 6 a 9 t de capacidade, durante doze (12) horas por dia, aproximadamente (Figura 3.8).



Figura 3.8. Expedição rodoviária da ração a granel.

(h) O sistema de movimentação de grãos

A movimentação dos grãos é feita por transportadores de arraste tipo Redler, helicoidais, e elevadores de caçambas. O sistema é constituído por 15 transportadores de arraste, 16 transportadores helicoidais e 6 elevadores de caçambas (Figura 3.9).



Figura 3.9. Vista do sistema de movimentação de grãos.

A fábrica tem uma potência, instalada em equipamentos de movimentação de grãos e do sistema de moagem, de 516,7 kW (702 cv), que estão cuja disposição é apresentada na Figura 3.10.

As siglas utilizadas na Figura 3.10 são descritas a seguir.

RD = Redler;
EL = Elevador de caçambas;
RT = Transportador helicoidal;
BD = Balança dosadora;
PM = Pré-misturador;
MM = Moinho; e
MSH = Misturador.

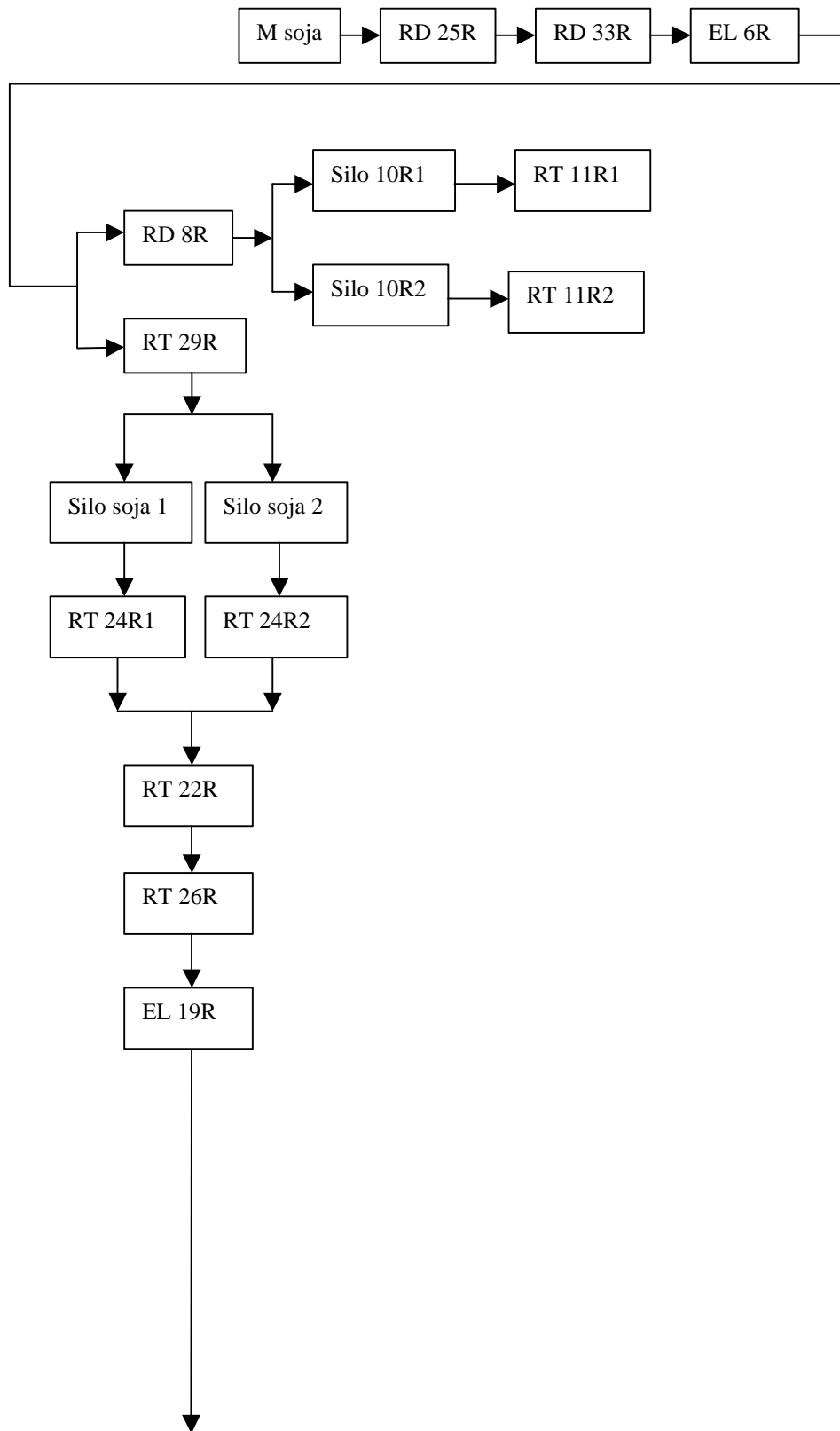


Figura 3.10. Fluxograma de funcionamento dos equipamentos de transporte da fábrica de ração da empresa PIF PAF, (cont.) simplificado.

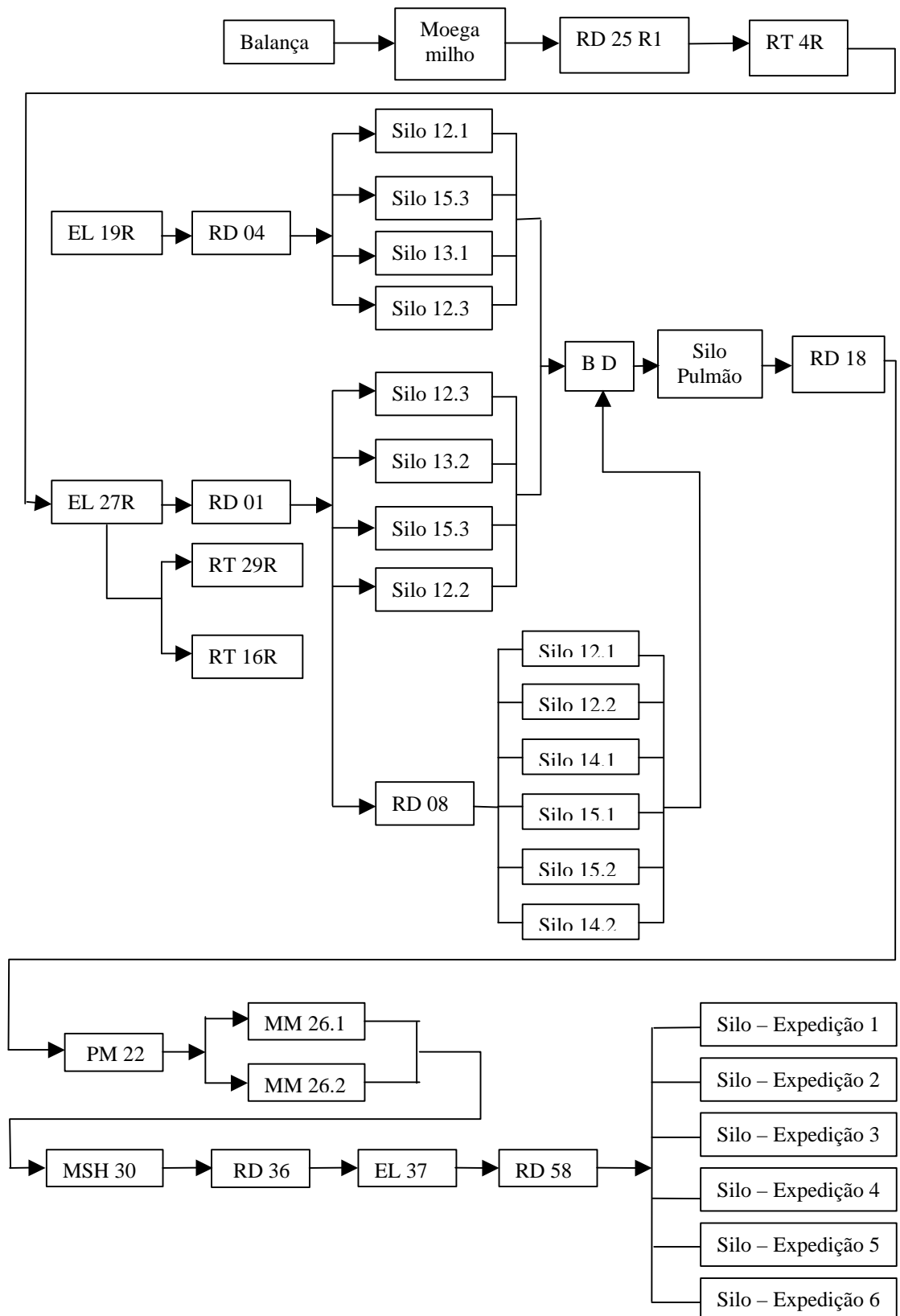


Figura 3.10. Fluxograma de funcionamento dos equipamentos de transporte da fábrica de ração da empresa PIF PAF simplificado.

Metodologia para Adequação de Força Motriz

Para a adequação de força motriz, é importante que se faça a avaliação do índice de carregamento e do rendimento do motor, na condição efetiva de carga. A avaliação do rendimento efetivo do motor elétrico pode ser realizada direta ou indiretamente. A avaliação direta exige a medição da rotação e do torque. A avaliação indireta do índice de carregamento pode ser feita de diversas formas, ou seja, medição da corrente elétrica do estator, medição do fator de potência e ou medição do escorregamento.

A avaliação do índice de carregamento pode ser feita também de forma indireta, estimando-se a carga mecânica. Todavia, a determinação do rendimento por meio da medição da corrente elétrica é a mais utilizada por ser a mais simples (SÁ et al., 1990). Para medição da corrente elétrica dos motores, foi utilizado um amperímetro alicate. De posse das correntes elétricas do motor, trabalhando com a carga de trabalho diária e seus dados de placa, determinou-se o índice de carregamento (IC), que é a razão entre a potência efetiva e a potência nominal, por meio da curva característica de corrente (Figura 3.11).

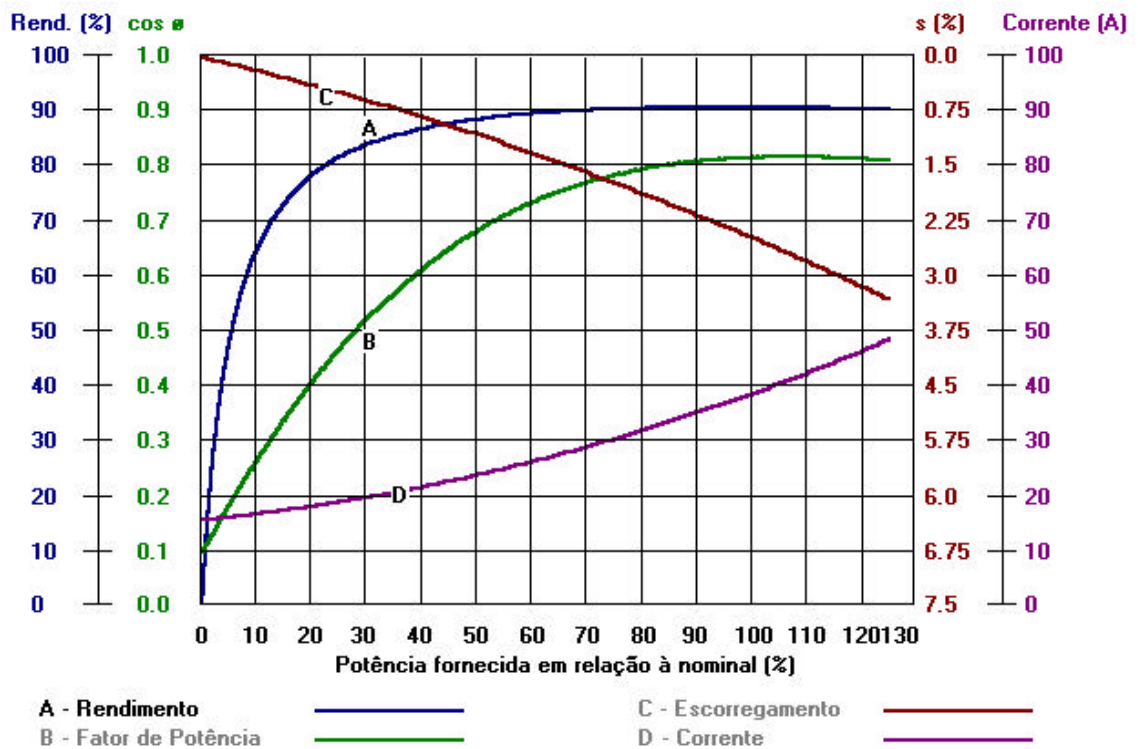


Figura 3.11. Curva característica de motores elétricos.

Com o IC, o rendimento foi determinado, utilizando-se a curva característica de rendimento (WEG, 2001). Na determinação do rendimento de motores elétricos, levou em consideração o nível de tensões, o desbalanceamento entre tensões, e se os motores já foram rebobinados, em virtude da grande influência desses fatores no rendimento dos motores elétricos (ELETROBRÁS, 1998).

As opções consideradas para adequação do uso força motriz foram:

- (a) substituição do motor padrão (PD), em uso, versus motor de mesma potência de alto rendimento (AR) novo;
- (b) substituição do motor (PD), em uso, versus motor novo (AR) adequado à condição de carga;
- (c) substituição do motor (PD), em uso, versus motor (PD) adequado à condição de carga em uso; e
- (d) aumento no número de horas de funcionamento anual.

Na análise econômica da racionalização do uso de força motriz, utilizaram-se parâmetros econômicos como a taxa interna de retorno (TIR), o valor presente líquido (VPL), a relação benefício-custo (RBC) e a taxa de retorno do capital (TRC). Para cada motor, os seguintes dados de entrada foram analisados: número de horas de funcionamento anual; vida útil; taxa de juros; aumento da energia acima da inflação no horizonte de planejamento; preço do consumo e da demanda de energia elétrica, no horário-de-ponta e fora de ponta, durante os períodos seco e úmido do ano, para efeito de cálculo de tarifas; preço dos motores; manutenção; e outros.

O gasto com consumo de energia dos motores foi estimado, põe meio da equação 3.16, e o gasto com demanda dos motores foi estimado por meio da equação 3.17.

$$C = \frac{0,736 P IC t_c h}{\zeta} \quad (3.16)$$

em que

- C = gasto com consumo de energia elétrica, R\$/ano;
- P = potência nominal do motor elétrico, cv;
- IC = índice de carregamento do motor elétrico, %;
- t_c = tarifa do consumo, R\$/kWh;
- h = número de horas de funcionamento anual, h; e
- η = rendimento do motor elétrico, decimal.

$$D = \frac{0,736 P I C t_d 12}{\zeta} \quad (3.17)$$

em que

D = gasto com demanda de energia elétrica, R\$/ano; e
t_d = tarifa da demanda, R\$/kW.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Quadros do Apêndice A apresentam os dados elétricos dos motores em condição de funcionamento diário da fábrica de ração. No Quadro 1A, que está Apêndice A, são apresentadas as condições de trabalho dos motores elétricos e algumas características tais como tipo de motor, rotação nominal, potência, horário de funcionamento diário, dentre outras. O Quadro 3.5 apresenta os índices econômicos utilizados para realização da análise econômica.

Quadro 3.5. Levantamento de dados para realização de análise econômica de motores elétricos da fábrica de ração

Dado	Unidade	Motor padrão ou alto rendimento
Potência	kW	0,70 a 128,80 kW (1 a 175 cv)
Índice de carregamento	%	15 a 101
Rendimento	%	50 a 95
Preço do motor	R\$	130,00 a 13.000,00
Número de horas de funcionamento anual	h	100 a 3.888
Número de horas de funcionamento anual maximizado	h	368 a 7.776
Juros	%/ano	8
Valor de sucata no ano final da vida útil	% do novo	20
Custo unitário da energia fora de ponta	R\$/kWh	0,06
Custo unitário da demanda fora de ponta	R\$/kW	15,00
Aumento do preço da energia acima da inflação	%/ano	2
Manutenção	%	1
Horizonte de planejamento	ano	10

O Quadro 3.5 apresenta as informações necessárias para realização da análise econômica dos motores elétricos para melhor opção de troca, tais como o preço do motor, taxa de atratividade de investimento, número de horas de funcionamento anual, rendimento e índice de carregamento a plena carga, e outras.

Utilizando os dados do Quadro 1A do Apêndice A foi possível realizar a análise econômica dos motores elétricos, para a situação mais vantajosa de investimento. As siglas utilizadas nos Quadros (3.6 a 3.12 e 3.16 a 3.50) são descritas a seguir:

PD	=	motor padrão;
PD AD	=	motor padrão adequado à condição de carga;
AR	=	motor de alto rendimento;
AR AD	=	motor de alto rendimento adequado à condição de carga; e
AR AD/h	=	motor de alto rendimento adequado à condição de carga com número de horas de funcionamento anual maximizado.

Para análise de troca dos motores elétricos, considerou-se:

1. Primeira opção de troca – dentre todas as opções estudadas, a melhor sob o ponto-de-vista econômico, no período de vida útil. Pode envolver mudança no processo de trabalho, caso haja mudança no horário de funcionamento.
2. Segunda opção de troca – dentre todas as opções estudadas, a segunda melhor sob o ponto-de-vista econômico, no período de vida útil. Pode ser implementada, pela compra de motor de alto rendimento, ou o remanejamento interno de motores, sem alterar o processo de trabalho.
3. Terceira opção de troca – dentre todas as opções estudadas, a terceira melhor sob o ponto-de-vista econômico, no período de vida útil. Pode ser implementada, pelo remanejamento interno de motores, sem alterar o processo de trabalho.

Quadro 3.6. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do elevador de caçambas 37

Elevador 37 – WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus Motor AR AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	1.814,80	1.801,20	9,20 kW (12,5 cv)	3,68 kW (5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	1.348,20	669,00	3.888 h/ano	7.776 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	3.163,00	2.470,20	IC = 71 %	IC = 88,8 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		692,80 (21,9 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		115,30 (3,7 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		47,20 (1,5 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VPL (R\$/kWh)	0,0826	0,0824	0,0838	0,0833	0,0651
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
VPL (R\$)		421,10	615,6 00	681,50	5.240,20
TIR (%)		não converge	43	74	não converge
RBC		6,2	2,1	4,2	38,9
TRC (ano)		Imediato	3 anos	2 anos	Imediato

Quadro 3.7. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 58

Transportador de corrente 58 - SEW - BRASIL					
Dados		Motor PD	Motor AR AD	Motor PD versus Motor AR AD	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	196,50	177,50	2,21 kW (3 cv)	0,55 kW (0,75 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	146,00	131,90	3.888 h/ano	7.776 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	342,40	309,40	IC = 25 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		33,00 (9,6 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		14,30 (4,2 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		23,20 (6,8 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,0954	0,0898	0,1005	0,0927	0,0695
		2ª Opção	3ª Opção	1ª Opção	
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
VPL (R\$)		260,40	59,70	332,90	(990,80)
TIR (%)		não converge	19	não converge	180
RBC		1,8	0,6	4,0	(11,9)
TRC (ano)		Imediato	5 anos	Imediato	não retornável

Quadro 3.8. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do alimentador 24.1

Alimentador 24.1 - SEW					
Dados		Motor PD	Motor PD AD	Motor PD versus AD	Motor PD versus AD
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	88,70	73,60	1,10 kW (1,5 cv)	0,24 kW (0,33 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	65,90	54,70	3.888 h/ano	3.888 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	154,60	128,20	IC = 17 %	IC = 77,3 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		26,40 (17,1 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		22,10 (14,3 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		11,9 (7,7 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,0925	0,0934	0,0986	0,0977	0,0725
		1ª Opção	3ª Opção	2ª Opção	
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
VPL (R\$)		213,40	21,30	124,80	(451,00)
TIR (%)		não converge	15	62	não converge
RBC		12,5	0,3	3,4	12,4
TRC (ano)		Imediato	6 anos	2 anos	não retornável

Quadro 3.9. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do moinho 26.1

Moinho 26.1 – WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR versus AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	34.079,70	37.623,00	128,80 kW (175 cv)	73,60 kW (100 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	25.317,20	13.974,70	3.888 h/ano	7.776 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	59.396,90	51.597,70	IC = 101 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		7.799,2 (13,1 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		2.021,09 (3,4 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		1.447,3 (2,4 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,0821	0,0821	0,0830	0,0830	0,0644
			3ª Opção	2ª Opção	1ª Opção
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
VPL (R\$)		4.352,60	5.995,50	10.242,00	59.667,20
TIR (%)		não converge	32	46	não converge
RBC		unitária	1,4	2,3	26,9
TRC (ano)		Imediato	3 anos	2 anos	Imediato

Quadro 3.10. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do misturador 30

Misturador 30 – WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus Motor AR AD/h	
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	3.720,30	3.625,40	29,44 kW (40 cv)	7,36 kW (10 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	2.763,80	1.346,60	3.888 h/ano	7.776 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	6.484,10	4.972,0	IC = 46 %	IC = 92 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		1512,1 (23,32 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		278,6 (4,30 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		119,1 (1,84 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,0840	0,0821	0,0852	0,0826	0,0647
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
VPL (R\$)		2.077,40	784,60	2.946,60	12.501,10
TIR (%)		não converge	32	não converge	não converge
RBC		1,9	(1,4)	3,6	9,8
TRC (ano)		Imediato	3 anos	Imediato	Imediato

Quadro 3.11. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 13.1

Rosca Dosadora 13.1 – SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus Motor AR AD/h	
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	525,00	552,20	3,68 kW (5 cv)	2,21 kW (3 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	794,00	417,60	1.909 h/ano	3.819 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	1.319,00	969,80	IC = 101 %	IC = 83,3 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		349,20 (26,5 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		66,90 (5,1 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		66,90 (5,1 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1198	0,1198	0,1221	0,1221	0,0853
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
			3ª Opção	2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		-	328,24	328,24	2.537,15
TIR (%)		-	43	43	1489
RBC		-	2,1	2,1	(107,0)
TRC (ano)		Imediato	2 anos e 4 meses	2 anos e 4 meses	Imediato

Quadro 3.12. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca transportadora 29 R

Rosca Transportadora 29 R - SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus Motor AR AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	27,60	25,60	5,52 kW (7,5 cv)	0,74 kW (1 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	212,70	98,90	374 h/ano	749 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	240,30	124,60	IC = 15 %	IC = 56,25 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		115,80 (48,2 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		31,50 (13,1 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		16,90 (7,0 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,5563	0,4530	0,6504	0,4779	0,2786
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		597,60	(363,10)	623,70	1.315,20
TIR (%)		não converge	-	não converge	não converge
RBC		1,4	1,0	1,7	3,0
TRC (ano)		Imediato	não retornável	Imediato	Imediato

De acordo com o Quadro 3.6, para o motor do elevador 37, como primeira opção de troca de motores, dentre as alternativas estudadas, tem-se a substituição do motor padrão atual de 9,20 kW (12,5 cv), com IC de 71,00 %, por um motor de alto rendimento de 3,70 kW (5 cv) com IC de 88,80 %, adequado à condição de carga com o número de horas de funcionamento anual maximizado. Logo, a economia anual é de 21,90 %, correspondendo a R\$ 692,80. Os parâmetros econômicos VPL de R\$ 5.240,90, TIR não convergente, RBC de 38,90 e TRC imediato reforçam a tomada de decisão.

Como segunda opção, tem-se a substituição do motor padrão atual de 9,20 kW (12,5 cv), com IC de 71,00 %, por um motor de alto rendimento de 9,20 kW (12,5 cv), com IC de 88,8 %, adequado à condição de carga. Logo, a economia anual seria de 3,7 %, correspondendo a R\$ 115,30. Os parâmetros econômicos VPL de R\$ 681,50, TIR de 74 %, RBC de 4,2 e TRC de 2 anos.

E por fim, a terceira opção seria a substituição do motor padrão atual de 9,2 kW (12,5 cv), com IC de 71,0 %, por um motor padrão adequado de 9,20 kW (12,5 cv), com IC de 88,80 %, a condição de carga. Logo, a economia anual é de 1,50 % (R\$ 47,20). Os parâmetros econômicos VPL de R\$ 421,10, TIR não-convergente, RBC de 4,2 e TRC imediato, reforçariam a tomada de decisão.

Observa-se, nos Quadros 3.6 a 3.12 e 3.16 a 3.50 do Apêndice B, observou-se que o potencial total estimado de economia de energia elétrica anual foi de cerca de 23,90 %, representando cerca de R\$ 24.200,00. A adequação de força motriz

representou uma diminuição de 64,9 % na potência demandada, utilizando-se, sempre, a melhor opção de substituição dos motores.

O Quadro 3.13 apresenta o rendimento, por faixa de potência de motores elétricos tipo padrão, na situação atual, e de motores de alto rendimento adequados (AR AD) para melhor opção de troca de motores elétricos da fábrica de ração.

Quadro 3.13. Rendimento por faixa de potência de motores elétricos tipo padrão na situação atual e de motores de alto rendimento adequados (AR AD) para melhor opção de troca de motores elétricos

Faixa (kW)	Número de motores	Potência total (kW)	Percentagem das faixas (%)	Média da carga ponderada (%)		Rendimento (%)	
				PD	AR AD	PD	AR AD
até 36,68 (5 cv)	22	57,73 (78,44 cv)	11,85	54,14	90,17	74,46	75,57
4,42 a 7,36 (6 a 10 cv)	13	81,70 (111,00 cv)	16,77	32,23	80,65	66,90	72,09
9,20 a 36,80 (12,5 a 50 cv)	6	90,16 (122,50 cv)	18,51	46,67	87,57	84,36	87,38
44,16 a 73,60 (60 a 100 cv)	0	0,00	0,00	0	0	0	0
acima de 73,60 (100 cv)	2	257,60 (350,00 cv)	52,87	99,50	100,00	92,49	94,80
Total / Média	43	487,19 (661,94 cv)	100,00	48,58	87,38	74,39	77,06

Na avaliação da condição de carga dos motores elétricos dos equipamentos da fábrica de ração obteve-se um índice de carregamento médio de 48,60 %, sendo que os motores de até 73,60 kW (100 cv) apresentaram índices de carregamento inferiores a 55 %, e os acima de 73,60 kW índices de carregamento médio acima de 99 % (Quadro 3.13).

O rendimento médio atual dos motores e do uso de motores eficientes e adequados foi de 74,39 % e 77,06 %, respectivamente, ressaltando que a adequação de força motriz pode representar uma melhoria média de rendimento de 4,66 %. Observou-se também que a melhoria do rendimento por se adequar a potência dos motores elétricos com motores de alto rendimento é maior para motores de até 7,36 kW (10 cv), haja visto; haja vista que o índice de carregamento para essa faixa de motores é menor.

O Quadro 3.14 mostra o índice de carregamento, por faixa de potência de motores elétricos tipo padrão, na situação atual de funcionamento.

Quadro 3.14. Índice de carregamento por faixa de potência de motores elétricos do tipo padrão, em situação atual de funcionamento

Faixa (kW)	Índice de carregamento médio por faixa de carga (%)						
	< 50	51 - 60	61 - 70	71 - 80	81 - 90	91 - 100	> 100
até 36,68 (5 cv)	54,55	13,64	-	4,55	4,55	4,55	18,18
de 4,42 a 7,36 (6 a 10 cv)	76,92	-	7,69	-	7,69	7,69	-
de 9,20 a 36,80 (12,5 a 50 cv)	66,67	-	-	33,33	-	-	-
de 44,16 a 73,60 (60 a 100 cv)	-	-	-	-	-	-	-
acima de 73,60 (100 cv)	-	-	-	-	-	50,00	50,00
Total / Média	60,47	6,98	2,33	6,98	4,65	6,98	11,63

Observou-se que o índice de carregamento é mais freqüente, para todas as faixas de potência considerada em valores inferiores a 50 %. O superdimensionamento indica a necessidade de adequação da potência de motores elétricos. Verificou-se que somente 23,30 % dos motores elétricos possuíam um índice de carregamento igual, ou superior, a 81 %.

Visando uma melhor comparação entre a adequação de força motriz e os motores, em funcionamento, na fábrica de ração, foram redimensionados todos os transportadores estudados.

De acordo com o Quadro 3.15, verificou-se a potência dos equipamentos da planta da fábrica, por meio de análise elétrica e pela análise mecânica dos motores elétricos dos transportadores. Portanto, a comparação entre os critérios de dimensionamento foi feita por: (i) projeto original; (ii) redimensionamento dos equipamentos, em função dos dados de projeto e de características técnicas dos equipamentos em funcionamento, fornecidos pelos responsáveis da fábrica de ração; e (iii) adequação de força motriz, não considerando a otimização do horário de funcionamento, ou seja, o horário de funcionamento adotado para análise foi o mesmo em exercício na fábrica de ração.

Quadro 3.15. Resultados da comparação entre as diferentes formas de analisar os equipamentos da planta da fábrica

Equipamentos	Dados de projeto		Redimensionamento dos motores		Adequação de força motriz	
	kW	(cv)	kW	(cv)	kW	(cv)
1 Elevador 37	9,20	12,50	9,20	12,50	9,20	12,50
2 Redler 58	2,20	3,00	1,47	2,00	2,20	3,00
3 Redler 38	3,68	5,00	2,21	3,00	3,68	5,00
4 Elevador 20	11,04	15,00	7,36	10,00	11,04	15,00
5 Alimentador 24,1	1,10	1,50	1,10	1,50	1,10	1,50
6 Alimentador 24,2	1,10	1,50	1,10	1,50	1,10	1,50
7 Moinho 26.1	128,80	175,00	128,80	175,00	128,80	175,00
8 Moinho 26.2	128,80	175,00	128,80	175,00	128,80	175,00
9 Misturador 30	29,44	40,00	29,44	40,00	29,44	40,00
10 Redler 36	5,52	7,50	1,47	2,00	5,52	7,50
11 Elevador 7	5,52	7,50	2,21	3,00	5,52	7,50
12 Redler 8	3,68	5,00	1,47	2,00	3,68	5,00
13 Redler 1	4,42	6,00	2,21	3,00	4,42	6,00
14 Redler 4	2,21	3,00	2,21	3,00	2,21	3,00
15 Rosca dosadora 13.1	3,68	5,00	2,21	3,00	3,68	5,00
16 Rosca dosadora 12.3	2,21	3,00	1,10	1,50	2,21	3,00
17 Rosca dosadora 13.2	3,68	5,00	2,21	3,00	3,68	5,00
18 Rosca dosadora 12.1	2,21	3,00	0,74	1,00	2,21	3,00
19 Rosca dosadora 15.3	2,21	3,00	0,74	1,00	2,21	3,00
20 Rosca dosadora 12.2	2,21	3,00	1,10	1,50	2,21	3,00
21 Rosca dosadora 14.1	2,21	3,00	0,37	0,50	2,21	3,00
22 Rosca dosadora 15.1	2,20	3,00	0,37	0,50	2,20	3,00
23 Rosca dosadora 15.2	2,20	3,00	0,37	0,50	2,20	3,00
24 Rosca dosadora 14.2	2,20	3,00	0,37	0,50	2,20	3,00
25 Redler 18	2,94	4,00	1,47	2,00	2,94	4,00
26 Redler 5	2,20	3,00	2,20	3,00	2,20	3,00
27 Elevador 27R	14,72	20,00	7,36	10,00	14,72	20,00
28 Redler 33R	2,20	3,00	1,47	2,00	2,20	3,00
29 Redler 25R2	4,00	5,44	2,20	3,00	4,00	5,44
30 Rosca transportadora 29R	5,52	7,50	1,47	2,00	5,52	7,50
31 Elevador 19R	14,72	20,00	7,36	10,00	14,72	20,00
32 Redler 8R	7,36	10,00	3,68	5,00	7,36	10,00
33 Rosca transportadora 11R1	7,36	10,00	2,20	3,00	7,36	10,00
34 Rosca transportadora 11 R2	7,36	10,00	2,20	3,00	7,36	10,00
35 Rosca transportadora 24 R1	7,36	10,00	2,94	4,00	7,36	10,00
36 Rosca transportadora 24 R2	7,36	10,00	2,94	4,00	7,36	10,00
37 Rosca transportadora 22 R	7,36	10,00	2,20	3,00	7,36	10,00
38 Redler 14 R	5,52	7,50	3,68	5,00	5,52	7,50
39 Redler 15 R	5,52	7,50	2,94	4,00	5,52	7,50
40 Redler 26 R	3,68	5,00	2,20	3,00	3,68	5,00
41 Elevador 6R	11,04	15,00	5,52	7,50	11,04	15,00
42 Rosca transportadora 4R	5,52	7,50	1,10	1,50	5,52	7,50
43 Redler 25 R1	3,68	5,00	2,20	3,00	3,68	5,00
44 Potência total	487,20	661,90	386,00	524,50	487,20	661,90
		100 %		79,2 %		75,7 %

De acordo com o Quadro 3.15, o superdimensionamento dos transportadores de corrente foi de 36,60 %, dos transportadores helicoidais de 64,40 % e dos elevadores de

caçamba de 42,40 %, considerando-se que o motor elétrico sugerido faria o mesmo trabalho realizado pelo motor superdimensionado existente.

Comparando as opções de análise dos motores elétricos, observou-se que a potência de projeto sempre foi superior à adequação de força motriz, pois, o superdimensionamento dos motores elétricos, assim como as potências da adequação de força motriz e do redimensionamento dos motores elétricos foram as que mais se aproximaram.

O superdimensionamento dos motores elétricos ocorreu, parte, devido aos sucessivos coeficientes de segurança adotados pelo fabricante durante a elaboração do projeto, a falta de conhecimento sobre a carga, às diferentes condições de trabalho, em relação àquelas especificadas pelo fabricante, e à disponibilidade e remanejamento interno de motores elétricos.

Vale ressaltar que os coeficientes de segurança devem ser utilizados, pelo menos, nas seguintes situações:

- (a) causas mecânicas – aumento de carga mecânica devido a desgaste de mancais, má lubrificação, desalinhamento e, ou desbalanceamento mecânico;
- (b) causas elétricas – diminuição no rendimento dos motores elétricos devido a níveis de tensão diferentes dos nominais, desbalanceamento de fases da rede de energia elétrica, reparos e, ou rebobinamento; e
- (c) processo – necessidade de partida dos motores com carregamento.

Portanto, são necessários estudos que indiquem os valores dos coeficientes de segurança mínimos que preservem a segurança de forma racional.

Observou-se que a maioria dos equipamentos foram dimensionados para condições específicas e são utilizados diferenciadamente. No caso do moinho, trituram-se, juntamente, todos os ingredientes da ração, ou seja, milho e gérmen de milho, farelo de soja, farinha de carne de suíno e de frango, e farinha de penas e de vísceras. A peneira utilizada é de 6 mm, enquanto que as especificações do fabricante são potência igual a 128,80 kW (175 cv) do modelo MOM 9645, com uma capacidade aproximada de 26 t/h para milho limpo e seco com massa específica igual a 750 kg/m^3 , com sistema de aspiração e tela com furo de 3,2 mm.

3.5 CONCLUSÃO

As principais conclusões desse trabalho foram:

- o potencial significativo de economia na conta de energia elétrica pela racionalização do uso de força motriz em uma fábrica de ração. Esta economia se dá pela redução do consumo e da demanda de energia elétrica;
- a avaliação da condição de carga dos motores elétricos dos equipamentos da fábrica de ração apresentou um índice de carregamento médio de 48,6 %, valor este, em muito inferior ao mínimo recomendado tecnicamente (cerca de 80,0 %) na maioria das aplicações. Ressalta-se ainda, que somente 23,3 % dos motores elétricos possuíam um índice de carregamento igual ou superior a 81,0 %;
- sempre que possível, sugere-se estudar a possibilidade de otimização do número de horas de funcionamento anual, a fim de economizar com demanda de energia elétrica. Esta otimização deve levar em consideração, os possíveis custos extras com mão-de-obra e a necessidade de adequação do processo produtivo para realização do trabalho em um período mais prolongado;
- o motor do moinho principal está funcionando adequadamente, porém caso fosse possível maximizar o número de horas de funcionamento poderia se substituir o motor tipo padrão de 36,8 kW (50 cv) por um motor de 17,4 kW (25 cv) de alto rendimento equivalente a uma economia de aproximadamente de 50 %;
- no dimensionamento dos equipamentos, deve-se adotar critérios mais rígidos quanto à utilização de coeficientes de segurança.

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALIBRAS S. A. Campinas. (<http://www.calibras.com.br>), Data da consulta: 05/2001.

CASP S/A Indústria e Comércio; **Manual - fábrica de ração**. J.P: Casp, 1980. 18p.

ELETROBRÁS - Guia operacional de motores elétricos. In: PROGRAMA DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. Rio de Janeiro: PROCEL, 1998. V.1, 161 p. PROCEL. **Motor de alto rendimento**. Guia técnico. Rio de Janeiro: 1998, v.1. 18p.

KEPLER, E. A. **Transportadores e máquina de limpeza**. Panambi, RS: Kepler- Weber S.A., 1975. 16p.

LACERDA FILHO, A. F.; AFONSO, A. D. L.; SILVA, J. de S. **Manuseio de grãos e farelos**. Caderno didático Engenharia na Agricultura, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1994, n.15.

SÁ, J. S.; COGO, J. R.; ARANGO, H., Avaliação do rendimento de motores de indução trifásicos via medição de tensão e corrente no estator. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 1, 1990. Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, 1990. v.1. 3.

WEG, S. A. **Catálogo eletrônico 2000**. Jaraguá do Sul (<http://www.weg.com.br>), Data da consulta: 01/07/2001.

4. DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA ADEQUAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ

RESUMO

O uso de força motriz representa mais de 50 % do consumo final de energia elétrica. Entretanto, em alguns segmentos industriais, o consumo pode superar 75 %. A utilização de índices de segurança excessivos, o desconhecimento da carga e o dimensionamento, em função da demanda máxima, são fatores que contribuem para o superdimensionamento de motores. A utilização racional de força motriz engloba não somente o estudo da viabilidade do uso de motores eficientes de mesma potência, mas, também o estudo da adequação de força motriz. Estes estudos devem considerar aspectos econômicos e técnicos. A avaliação técnica do uso de força motriz engloba o entendimento das demandas do processo e do comportamento elétrico dos motores. A avaliação econômica tem sido feita, considerando-se os custos de oportunidade, os investimentos e os custos operacionais para a vida útil das tecnologias em estudo. Auditorias energéticas têm sido feitas no sentido de priorizar ações de GLD, dentre as opções de racionalização do uso de energia elétrica. Este trabalho visou o desenvolvimento de um programa computacional, para simulação das características técnicas e econômicas de funcionamento de motores elétricos, fornecendo os valores necessários para a avaliação da adequação de força motriz.

PALAVRAS-CHAVE: programa computacional, adequação de força motriz, motores elétricos, racionalização.

4.1 INTRODUÇÃO

O planejamento do setor elétrico moderno envolve objetivos técnicos, econômicos, sociais e ambientais. Portanto é necessária a aplicação de um processo de planejamento que integre esses objetivos, considerando, ainda a utilização dos recursos energéticos alternativos e convencionais. O planejamento moderno está evoluindo em direção ao Planejamento Integrado de Recursos (PIR). O PIR é um modelo que abrange o planejamento desde os recursos energéticos até o uso final da energia. Este modelo combina opções de tecnologias de oferta de eletricidade e de melhorias de eficiência energética para prover serviços de energia elétrica a um custo menor, incluindo a contabilização de custos sociais e ambientais. O PIR inclui opções de Gerenciamento do Lado da Demanda (GLD) e do Gerenciamento do Lado do Suprimento (GLS) (JANNUZZI e SWISHER, 1997).

No Brasil, o setor industrial representa, praticamente, metade do consumo de energia elétrica e os motores são responsáveis por, aproximadamente, 49 % do consumo deste setor (ELETROBRÁS, 1998). Na determinação do custo de utilização de um motor, deve-se considerar não apenas o investimento inicial, mas também os custos de operação durante toda a vida útil desse motor. Motores de alto rendimento, por exemplo, consomem menos energia para executar o mesmo trabalho realizado por outro da linha padrão, mas seu custo inicial é maior. Medidas adotadas para um aumento da eficiência do processo de operação dos motores produzirão economia de energia, trazendo benefícios para os usuários e para o País.

Análises realizadas anteriormente, envolvendo vários programas de conservação de energia, mostraram que a adequação de força motriz apresenta as maiores taxas internas de retorno. Essas análises envolveram as seguintes opções: (i) utilização e adequação de motores; (ii) utilização e adequação de fornos; (iii) substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes (serviços); (iv) condicionamento de ar; (v) substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes (residencial); (vi) substituição de lâmpadas incandescentes por incandescentes do tipo econômico (residencial); (vii) melhoria de eficiência de motores; (viii) melhoria de eficiência de refrigeradores; (ix) substituição de lâmpada incandescente por lâmpada de vapor de mercúrio; (x) condicionamento de ar (residencial); (xi) substituição de lâmpada incandescente por fluorescente compacta (serviços); (xii) utilização de controlador de velocidade variável; (xiii) substituição de lâmpada incandescente por lâmpadas de vapor de sódio; e (xiv) substituição de lâmpada incandescente por fluorescente compacta (residencial) (PINHEIRO, 1992).

Visando à adequação de força motriz, foram estudadas as seguintes opções: (i) motor padrão, em uso, por motor padrão novo adequado à condição de carga; (ii) motor padrão, em uso, por motor novo de alto rendimento e mesma potência (no caso do motor em uso estar bem dimensionado); (iii) motor padrão, em uso, por motor novo de alto rendimento, adequado à condição de carga; e (iv) motor de alto rendimento, em uso, por motor novo de alto rendimento, adequado à condição de carga.

A análise da adequação de força motriz envolve aspectos técnicos e econômicos. Sob o ponto de vista técnico, deve-se medir parâmetros que permitam avaliar o índice de carregamento, razão entre potência utilizada e potência nominal e rendimento do motor na condição de carga atual. A avaliação do índice de carregamento e do rendimento atuais do motor elétrico pode ser determinada de três formas: (i) via medição da corrente elétrica do estator; (ii) via medição do fator de potência; e (iii) via medição da potência útil.

A determinação do rendimento via medição da corrente elétrica é a mais utilizada por ser a mais simples (SÁ et al., 1990). De posse da corrente elétrica do motor trabalhando a plena carga e seus dados de placa, determina-se o índice de carregamento (IC), via curva característica de corrente. Com o IC, determina-se o rendimento via curva característica de rendimento (WEG, 2001). Além do índice de carregamento e do rendimento, a análise técnica avalia o consumo anual de energia do motor e seu custo de manutenção, energia e de demanda.

A análise econômica de vida útil, geralmente, considera os seguintes indicadores para análise da viabilidade do investimento: (i) taxa interna de retorno (TIR); (ii) valor presente líquido (VPL); (iii) relação benefício-custo (RBC); (iv) tempo de retorno de capital (TRC).

Atualmente a adequação de força motriz é analisada baseando-se em planilha eletrônica, programa para digitalização de imagens e catálogos eletrônicos de fabricantes de motores. Portanto existe a necessidade de um programa computacional que agilize a avaliação da adequação de força motriz em diversos setores da indústria.

4.2 OBJETIVO

O presente trabalho objetivou:

- desenvolver um programa computacional visando à adequação de força motriz; e
- realizar a simulação das características técnicas e econômicas do funcionamento de motores elétricos, baseando-se em dados reais.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido nos laboratórios da Área de Energia na Agricultura do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, e constou de três etapas: modelamento de curvas características de motores elétricos, desenvolvimento de programa computacional e validação do programa.

4.3.1 Modelamento de curvas características de motores elétricos

Para análise técnica da viabilidade da adequação de força motriz, é necessário determinar o valor do índice de carregamento, em função da corrente medida, e do rendimento em função do índice de carregamento. Os resultados das avaliações, realizadas pelos fabricantes de motores, apresentam as curvas características de fator de potência, escorregamento, rendimento e corrente elétrica em função do índice de carregamento dos motores elétricos.

Este estudo abrangeu motores de 2 e 4 pólos; linha comercial de 0,736 a 73,6 kW (1 a 100 cv); tipo padrão e alto rendimento; e 220/380 V. As curvas destes motores foram exportadas para o programa SACRID, desenvolvido na UFV (SANTOS e RAMOS, 1997). Os valores variaram da seguinte forma: (i) Índice de carregamento - 0 a 130 %; (ii) Rendimento - 0 a 100 %; e (iii) Corrente - 0 a 20 ampères para os motores de 0,736 a 4,42 kW (1 a 6 cv), 0 a 100 ampères para motores de 5,52 a 22,08 kW (7,5 a 30 cv); e 0 a 500 ampères para motores de 29,44 a 73,6 kW (40 a 100 cv). No programa SACRID, a tomada de dados pode ser feita apenas com os pontos

da curva obtidos, ou por meio de formas de interpolação de dados, tais como a <spline> ou a polilinear, que, a partir de derivações, modelam o comportamento geométrico de uma curva qualquer. O tipo de aquisição das coordenadas seguidas neste estudo foi o uso de intervalos de curvas de derivação de 3º grau, ou splines cúbicas. Foram interpolados 200 pontos, por curva. Os dados obtidos no SACRID foram exportados para uma planilha eletrônica, na qual foram gerados gráficos de índice de carregamento, em função da corrente, e rendimento em função do índice de carregamento.

O ajuste das curvas foi feito por meio da adição de linhas de tendência. As curvas de índice de carregamento foram ajustadas a polinômios de sexto grau.

As curvas de rendimento foram divididas em duas partes, cada uma sendo ajustada a um polinômio, também de sexto grau.

Este método foi utilizado por que a maioria das curvas de rendimento dos motores apresentavam formas muito acentuadas, que não permitiam um ajuste de qualidade por meio de uma única linha de tendência.

A primeira linha de tendência ajustou a curva original até o ponto onde IC é igual a 30 %. A segunda linha ajustou o resto da curva. Para cada uma das equações geradas foram determinados os coeficientes de correlação. A equação gerada era utilizada no banco de dados, quando o coeficiente de regressão da curva (R^2) gerado era maior que 99 %, caso contrário, a curva original era digitalizada novamente.

4.3.2 Desenvolvimento do programa computacional

O sistema para adequação de força motriz desenvolvido com a utilização da ferramenta Delphi, foi capaz de fazer a simulação das características de funcionamento dos motores elétricos para a adequação de força motriz e análise econômica de vida útil. A estrutura do programa é apresentada na Figura 4.1.

A tela inicial do sistema para adequação de força motriz é o módulo “Apresentação e entrada de dados econômicos”, em que o usuário fornecer as seguintes informações sobre os índices econômicos, que serão utilizados na análise de vida útil: (i) taxa de juros (%/ano); (ii) valor de sucata do motor (% do novo); (iii) custo unitário da energia (R\$/kWh); (iv) custo unitário da demanda (R\$/kW); (v) aumento da energia acima da inflação (%/ano); e (vi) custo de manutenção, em relação ao preço do motor, % (Figura 4.2).

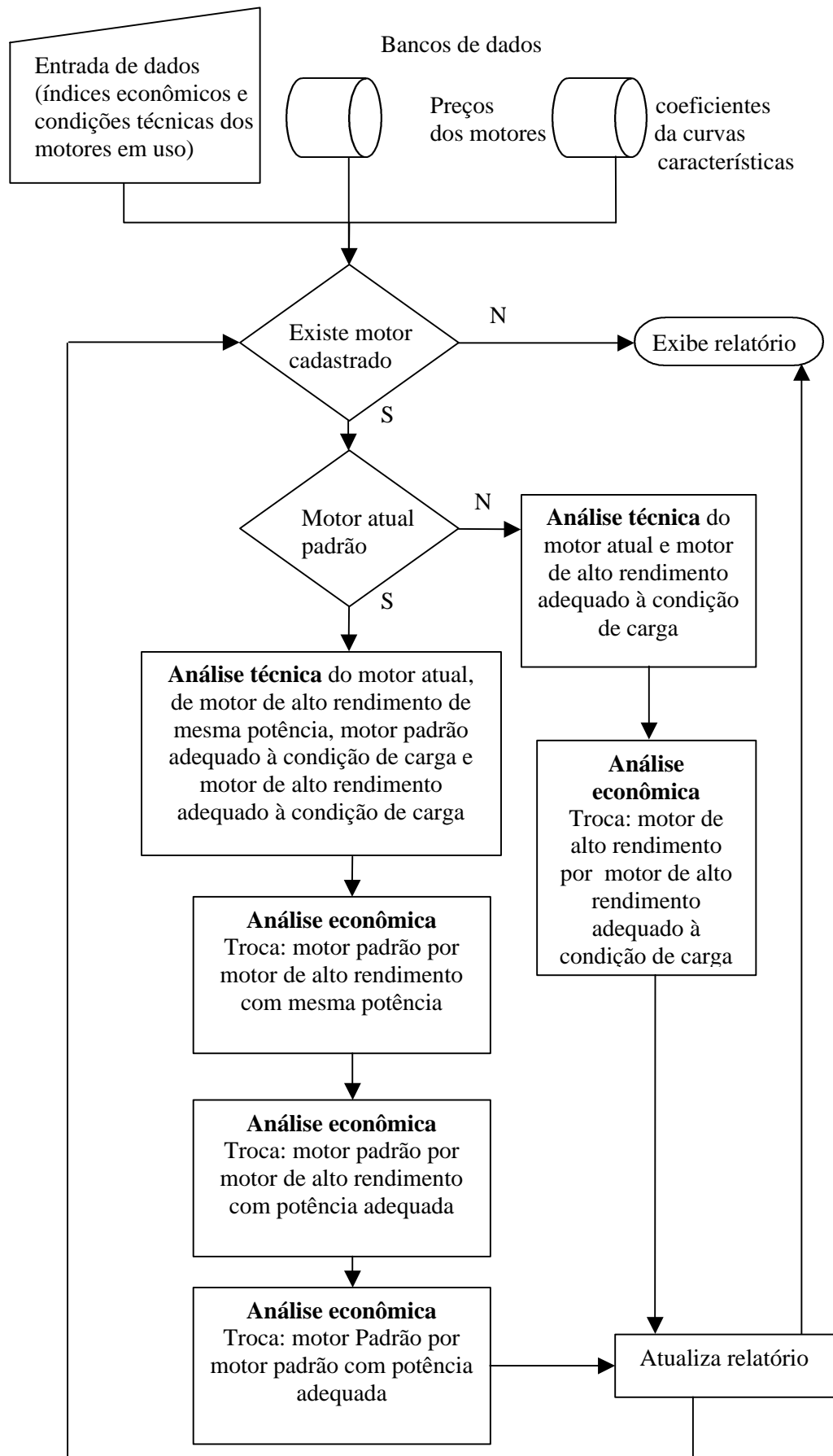


Figura 4.1. Fluxograma do programa computacional.

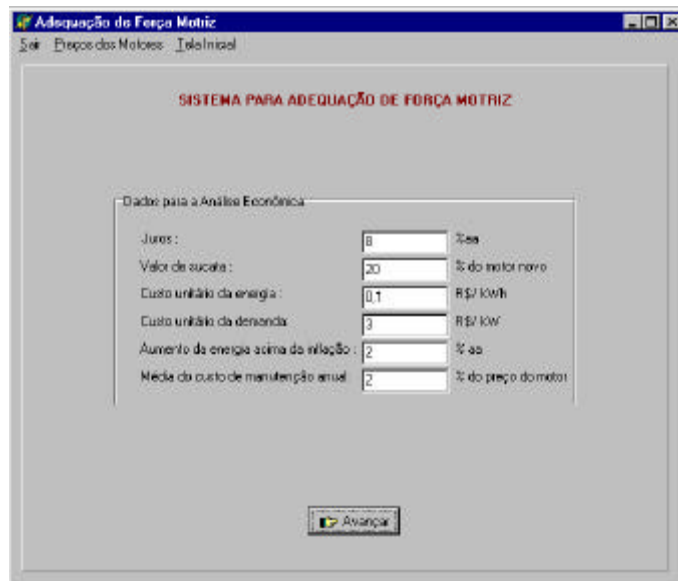


Figura 4.2. Módulo "Apresentação e entrada de dados econômicos" do sistema para adequação de força motriz.

A tela seguinte apresenta o módulo “Entrada de dados do motor em uso”, Figura 4.3. Neste módulo, o usuário deve escolher entre um motor padrão e outro de alto rendimento, de 2 ou 4 pólos, cujos valores de potência estão entre 0,736 e 73,6 kW. Além disso, devem ser fornecidos três valores de corrente elétrica medidos (fases A, B e C), o tempo de uso do motor, o número de horas de funcionamento anual do motor e o tipo de ligação do motor (estrela ou triângulo).



Figura 4.3. Módulo "Entrada de dados do motor em uso" do sistema para adequação de força motriz.

Os dois primeiros módulos apresentam valores de entrada <default>, que podem ser modificados, mas possuem valores- limite e valores recomendáveis, que são testados antes do iniciar da análise. São apresentadas mensagens, caso algum destes valores esteja fora dos limites ou das faixas recomendáveis.

Caso o motor em uso seja padrão e esteja bem dimensionado, será analisada a viabilidade da troca do motor, em uso, por um motor de alto rendimento de mesma potência. Caso contrário, as opções de troca são: motor padrão, em uso, por motor novo padrão adequado à condição de carga; e motor padrão, em uso, por motor novo de alto rendimento adequado à condição de carga. Caso o motor em uso seja de alto rendimento e não esteja bem dimensionado, a opção de troca avaliada será motor de alto rendimento, em uso, por motor de alto rendimento adequado à condição de carga. Para realização dos cálculos, é necessário conhecer os preços dos motores. Esses valores foram armazenados em um banco de dados disponível ao usuário, caso haja necessidade de alguma modificação e, ou visualização.

A análise técnica inclui, para cada motor candidato à troca e para o motor em uso, os cálculos descritos a seguir.

a) Índice de carregamento e rendimento do motor

Estes cálculos são realizados por meio das equações obtidas na fase de modelamento das curvas características dos motores, no item 4.1. Os coeficientes das equações estão armazenados em um banco de dados interno. O valor do índice de carregamento é calculado baseando-se na média das correntes observadas e no tipo de tensão de alimentação do motor, enquanto o valor do rendimento é baseado no índice de carregamento.

b) Consumo anual de energia elétrica

Esta avaliação leva em consideração a potência, o rendimento, o índice de carregamento e o número de horas de funcionamento anual do motor em questão. O consumo anual de energia é dado pela equação

$$C = \frac{0,736 P I C h}{\zeta} \quad (4.1)$$

em que

- C = consumo anual de energia, kWh/ano;
- h = número de horas de funcionamento anual, h;

- P = potência nominal do motor, kW;
 IC = índice de carregamento, %; e
 η = rendimento do motor, %.

c) Custo anual da energia demandada pelo motor

O custo anual da energia demandada pelo motor é calculado pela equação

$$C_e = C_{un} C \quad (4.2)$$

em que

- C_e = custo anual da energia dissipada pelo motor, R\$; e
 C_{un} = custo unitário da energia, R\$/kWh.

d) Custo de manutenção

O custo total de manutenção é avaliado em função do horizonte de planejamento e do percentual médio do custo de manutenção, em relação ao preço do motor novo, e pode ser estimado por

$$C_{tm} = \frac{2V_m C_m}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (4.3)$$

em que

- C_{tm} = custo anual total de manutenção, R\$;
 V_m = valor do motor, R\$;
 C_m = custo percentual médio de manutenção, %;
 n = horizonte de planejamento, ano; e
 t_i = tempo acumulado, $i=1, 2, \dots, n$, ano.

e) Custo anual da demanda de energia elétrica

A avaliação do custo da demanda de energia leva em conta o custo unitário da demanda, a potência, os índices de carregamento e rendimento do motor. Pode ser calculado, empregando-se a equação

$$C_d = \frac{0,736 P IC 12 C_{ud}}{\zeta} \quad (4.4)$$

em que

- C_d = custo de demanda anual de energia, R\$/ano; e
 C_{ud} = custo unitário da demanda, R\$/kW.

De posse dos dados mencionados, é possível iniciar a análise econômica. Nesta fase, o primeiro passo consiste em construir o fluxo de caixa, para cada motor, ou seja, a representação das contribuições monetárias (entradas e saídas de dinheiro), ao longo do período equivalente ao horizonte de planejamento. O ano zero representa o investimento inicial com o motor, sendo os valores obtidos por meio das equações (4.5) e (4.6).

$$F_i = (C + C_d) \left(1 + \frac{j}{100}\right)^i + (C_{tm})_i \quad (4.5)$$

$$C_{tm} = \frac{2 V_m C_{pm}}{n} t_i \quad (4.6)$$

em que

- F_i = fluxo de caixa do ano i , R\$;
- C_{pm} = custo parcial de manutenção do motor, R\$;
- i = ano considerado, adimensional; e
- j = taxa anual de juros, %.

A viabilidade de cada opção de troca é analisada por meio do fluxo de caixa líquido, que é a diferença entre os fluxos de caixa dos motores. Os indicadores analisados são descritos a seguir (FRIZZONE e SILVEIRA, 2000).

a) Valor Presente Líquido

O valor presente líquido corresponde à soma algébrica dos valores presentes envolvidos no fluxo de caixa, podendo ser expresso pela equação

$$VPL = VP_1 + \sum_{i=1}^n (F_1)_i \quad (4.7)$$

em que

- VPL = valor presente líquido, R\$;
- VP_1 = valor do investimento inicial para troca do motor, R\$; e
- F_1 = fluxo líquido de caixa, R\$.

Este critério verifica as contribuições econômicas globais de cada opção de troca, independentemente das outras. Assim, a troca de um motor, em uso, por outro é viável, caso $VPL > 0$. No caso de duas opções de troca com $VPL > 0$, aquela que apresentar o maior VPL, é considerada melhor, já que estão sendo avaliados os investimentos.

b) Relação Benefício-Custo

A relação benefício-custo (RBC) é definida como o quociente entre a soma dos benefícios e dos custos, descontados pela taxa de juros adotada. Quanto maior a relação benefício-custo, maior será a viabilidade da troca. A opção de troca é considerada viável, caso $RBC > 1$.

c) Tempo de Retorno de Capital

O tempo de retorno de capital (TRC) é o tempo necessário para que o valor investido na troca do motor seja recuperado. No caso em que o fluxo líquido avaliado apresenta valores de investimento e benefícios com sinais iguais e positivos, conclui-se que o retorno de capital, na opção em questão, é imediato. Caso contrário, o cálculo do TRC divide-se em anos e meses necessários para que o investimento inicial será recuperado. A opção de troca será viável, caso o TRC seja menor que o número de anos da análise de vida útil do motor elétrico.

d) Taxa Interna de Retorno

A taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de juros que torna nulo o VPL, ou seja, a taxa para a qual a soma dos benefícios torna-se igual à soma dos custos.

Caso o fluxo líquido avaliado apresente valores de investimento e benefícios com sinais, iguais diz-se que a TIR não converge, ou seja, não existe valor de taxa de juros que anule o VPL. Neste caso, o investimento é considerado imediatamente viável. Caso contrário, o valor da TIR é obtido por meio de interpolação inversa. Nesta abordagem, a opção de troca do motor será viável, se o valor da TIR for maior que a taxa de juros considerada, $TIR > j$. No caso de duas opções viáveis, deve ser considerada melhor aquela que apresentar a maior TIR. Para calcular a TIR por meio de interpolação inversa, deve-se, inicialmente, testar valores de VPL, para a opção de troca em questão, até que se obtenham valores com sinais opostos, o que significa que a VPL esperada está neste intervalo (CAMARGO, 1998).

O valor inicial da taxa de juros utilizada, para os testes realizados neste trabalho, foi zero. A partir daí, serão usadas taxas de juros crescentes em pequenos incrementos, por exemplo, 5 %. Por meio desses valores, foi criado um conjunto de pontos $[X_i, Y_i]$, em que i variou de 1 a 4, X representou as taxas de juros e Y os valores presentes líquidos (2 valores positivos e 2 negativos). O método de interpolação inversa utilizado

proporcionou resultados mais precisos e considerou polinômios de Newton, com diferenças progressivas (GERALD e WEATLEY, 1984), definidos a seguir:

$$\Delta y_i = Y_{i+1} - Y_i, \quad i = 1, L, 3 \quad (4.8)$$

$$\Delta^2 y_j = \Delta y_{j+1} - \Delta y_j, \quad j = 1, L, 2 \quad (4.9)$$

$$\Delta^3 y = \Delta^2 y_2 - \Delta^2 y_1 \quad (4.10)$$

$$S_1 = \frac{Y - Y_2}{\Delta y_2} \quad (4.11)$$

Na equação 4.11, Y é o valor desejado da TIR que, neste caso, é zero. Desta forma, a equação 4.11 e as subseqüentes são simplificadas.

$$S_1 = -\frac{Y_2}{\ddot{A}y_2} \quad (4.12)$$

$$S_2 = -\frac{(S_1)^2 \Delta^2 y_1}{2 \Delta y_2} \quad (4.13)$$

$$S_3 = S_1 - \frac{S_2(S_2 - 1)}{2 \ddot{A}y_2} \left[\ddot{A}^2 y_1 + \left(\frac{S_2 + 1}{3} \right) \ddot{A}^3 y \right] \quad (4.14)$$

O valor procurado da TIR é dado pela equação

$$\text{TIR} = (X_2 + 0,05 S_3) 100 \quad (4.15)$$

Os resultados dos cálculos são apresentados ao usuário, no módulo “Relatório”, mostrado na Figura 4.4. Neste módulo, são ainda apresentados comentários sobre a melhor opção de troca.

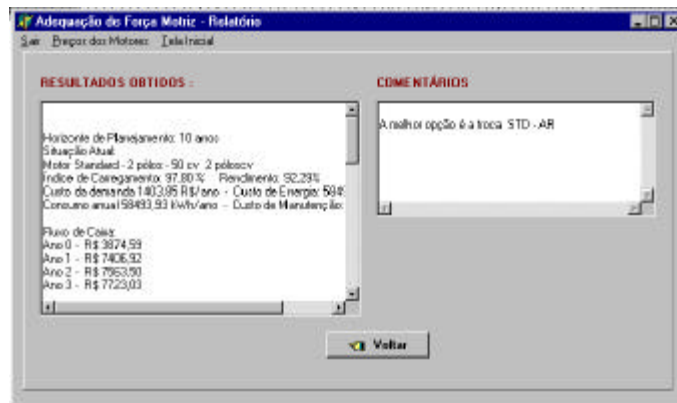


Figura 4.4. Módulo "Relatório" do Sistema para adequação de força motriz.

4.3.3 Validação do programa

Após implementar o programa, foram utilizados dados reais obtidos a partir de catálogos, fornecidos pelos fabricantes de motores, para validação do programa. Foram também utilizados dados de auditoria energética, obtidos em uma indústria.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa computacional, desenvolvido para adequação de força motriz, apresentou resultados semelhantes àqueles obtidos por meio do uso de catálogos eletrônicos de motores e planilhas eletrônicas.

Em geral, quando um motor padrão, em uso, está bem dimensionado, poderá ser recomendável a sua troca por um motor de alto rendimento de mesma potência. Esta situação ocorre, quando a diferença de preço entre o motor de alto rendimento e o valor de sucata do motor em uso é menor do que o valor presente da economia com consumo e demanda de energia elétrica, no horizonte de planejamento considerado.

A diferença no preço dos motores de alto rendimento, é influenciada tanto pelos programas de incentivo financeiro das concessionárias de energia elétrica, e de fabricantes de motores elétricos quanto pelo valor de sucata dos motores em uso.

Isso ocorre porque, na maioria dos casos, os motores de alto rendimento consomem menos energia elétrica apresentando, assim, valores menores nos índices custo de demanda, custo de energia e consumo anual de energia. Quando os motores em uso, tanto o padrão quanto o de alto rendimento, estão mal dimensionados, a troca por motores adequados à condição de carga é aconselhável. Os motores com potência adequada à condição de carga também apresentam, na maioria das vezes, menor consumo de energia. Na avaliação de motores do tipo padrão, ocorre variação na escolha entre a troca de motores de padrão adequado, e de alto rendimento adequado, devido aos investimentos necessários. Mesmo consumindo menor quantidade de energia elétrica, os motores de alto rendimento têm preços mais altos e por isso, algumas vezes,

a troca de um motor padrão por um motor padrão adequado à condição de carga é mais vantajosa.

Os Quadros 4.1 e 4.2 apresentam os resultados obtidos com a utilização do programa. Todos os motores considerados trabalham 3.312 horas, por ano. Considerou-se um horizonte de planejamento de 10 anos. Para os Quadros 4.1 e 4.2, considerou-se a seguinte legenda:

Legenda

- PD = padrão;
- AR = alto rendimento;
- VPL = valor presente líquido;
- TIR = taxa interna de retorno;
- RBC = relação benefício custo;
- TRC = tempo de retorno de capital; e
- IC = índice de carregamento.

Quadro 4.1. Caracterização do uso de força motriz para dois motores elétricos

Tipo de motor	Potência kW	Tipo de ligação	Motor em uso			Consumo anual kWh/ano	Custo da demanda R\$/ano	Custo da Energia R\$/ano
			Corrente média (A)	IC (%)	Rendimento (%)			
PD	5,52 (7,5 cv)	Estrela	7,2	91,8	87,1	19.295,00	464,22	1.202,00
PD	7,36 (10 cv)	Estrela	11,5	22,1	68,0	7.920,0	190,56	493,60

Quadro 4.2. Adequação de força motriz para motores elétricos

Tipo de motor	Potência kW	IC (%)	Rendimento (%)	Consumo anual kWh/ano	Custo da demanda R\$/ano	Custo de energia R\$/ano
Resultado para o primeiro motor padrão						
Motor bem dimensionado						
AR	5,52 (7,5 cv)	91,8	89,8	18.706,00	450,00	1.165,00
VPL: R\$252,44		TIR: 45,4 %		RBC: 2,4	TRC: 2 anos e 6 meses	
Resultado para o segundo motor padrão						
Motor mal dimensionado						
PD	2,21 (3 cv)	73,6	79,5	6.775,25	163,00	422,20
VPL: R\$2.092,00		TIR: não-convergente		RBC: 1,5	TRC: retorno imediato	
AR	2,21 (3 cv)	73,6	82,5	6.549,00	157,00	408,00
VPL: R\$1.914,47		TIR: não-convergente		RBC: 1,9	TRC: retorno imediato	

No primeiro caso, o motor está bem dimensionado e a análise mostra que a troca por um motor de alto rendimento com mesma potência é viável. O valor do VPL para esta opção de troca é de R\$ 252,44. Além disso, a TIR é igual a 45,4 % (valor bem

maior que a taxa de juros considerada), o RBC é igual a 2,4 (maior que 1) e o TRC é igual a dois anos e seis meses (valor menor que o horizonte de planejamento considerado).

No segundo caso, o motor não está bem dimensionado e são apresentadas duas opções de troca: (i) motor padrão atual por motor padrão adequado à condição de carga; e (ii) motor padrão atual por motor de alto rendimento adequado à condição de carga. Comparando os valores resultantes para os índices das duas opções, observa-se que o VPL da opção (ii) é 1.914,47 (menor que o valor do VPL da opção (i), que é igual a 2.092,16) e seu RBC é igual a 1,9 (maior que o RBC da opção (i), que é igual a 1,5). Tanto para a opção (i) quanto para a opção (ii), a TIR não convergiu e o TRC é imediato. As duas opções são viáveis, mas a segunda opção é mais vantajosa economicamente.

4.5 CONCLUSÃO

As principais conclusões desse trabalho foram:

- o programa computacional desenvolvido para adequação de força motriz mostrou-se útil, pois, integra dados dos catálogos eletrônicos de motores, por meio da digitalização de imagens das curvas características de motores elétricos e cálculos técnicos e econômicos, desta forma, a análise dos dados dos motores elétricos tornou-se mais rápida e menos susceptível a erros;
- é recomendável do ponto de vista econômico que sejam feitos estudos visando a adequação de força motriz, mesmo que os motores elétricos do tipo padrão estejam bem dimensionados tecnicamente; e
- a importância da precisão dos dados digitalizados das curvas características dos motores elétricos para que se minimizem os erros das análises.

4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, I. M. T. **Noções básicas de engenharia econômica: aplicações no setor elétrico**. Brasília: FINATEC, 1998. 141 p.
- ELETROBRÁS - Guia operacional de motores elétricos. In: PROGRAMA DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. Rio de Janeiro: PROCEL, 1998. V.1, 161 p.
- FRIZZONE, J. A., SILVEIRA, S. de F. R. Avaliação e custos de projetos de irrigação. In: 1º SEMINÁRIO ENERGIA NA AGRICULTURA - CEMIG, Uberaba: 2000. **Anais...** s.n. v1, 1-87 p.
- GERALD, C. F.; WEATLEY, P. O. **Applied numerical analysis**. Addison-Welwy Publishing Company, 1984. 579 p.
- JANNUZZI, G. M.; SWISHER, J. N. P. **Planejamento integrado dos recursos energéticos: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis**. 1. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 1997. 246 p.
- PINHEIRO, S. F. **Conservação de energia elétrica: recurso energético planejado**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 1, 1986. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: v.l. 3, p. 95-108.
- SÁ, J. S.; COGO, J. R.; ARANGO, H. Avaliação do rendimento de motores de indução trifásicos via medição de tensão e corrente no estator. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 1, 1990. Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, 1990. v.l. 3.
- SANTOS, W. L dos; RAMOS, M. M. **SACRID – Software para aquisição de coordenadas**, Universidade Federal de Viçosa (UFV), 1997. Disponível via URL: (<http://www.ufv.br>)

WEG S.A., **Catálogo Eletrônico 2000**. Jaraguá do Sul (<http://www.weg.com.br>), data da consulta: 01 jul. 2001.

5. SIMULAÇÃO DO USO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA ACOPLADO A TRANSPORTADORES DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

RESUMO

Existe um grande potencial de economia de energia elétrica, nas unidades armazenadoras. O transportador é um dos equipamentos que utilizam processos de força motriz e trabalham com cargas variáveis. Ainda não se conhece um estudo sobre a utilização de inversores de frequência em transportadores, visando à economia de energia elétrica e automação do processo. Visando ao conhecimento do perfil de funcionamento de um sistema conjugado, inversor de frequência – transportador helicoidal, para uso em sistema de armazenagem de grãos, utilizou-se um sistema de coleta de dados de massa, tempo, propriedades físicas dos produtos agrícolas e propriedades mecânicas do transportador helicoidal.

Este trabalho objetivou o estudar o desempenho e consumo de energia elétrica do sistema conjugado inversor de frequência-transportador helicoidal. O experimento foi realizado na Área de Armazenamento do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Os dados elétricos e mecânicos do transportador helicoidal, trabalhando a plena carga efetiva, foram obtidos produtos com massa específica diferente e duas inclinações distintas do transportador. Quando o inversor de frequência foi utilizado, o módulo de economia de energia estava habilitado e, assim, o sistema variava automaticamente, a tensão de alimentação da rede para minimizar o consumo de energia elétrica. Concluiu-se que a inclinação do transportador afeta o gasto

com energia elétrica, e enquanto a utilização do inversor de frequência, acoplado ao motor do transportador helicoidal, não proporcionou uma economia média significativa para nenhuma das inclinações e produtos agrícolas, milho ou sorgo, estudados. A viabilidade econômica do uso de inversor de frequência, em motores, restringe-se a cargas demandadas em um número de horas anuais relativamente alto, que sejam cargas variáveis e tenham um carregamento médio inferior a 40 % e que necessitem de motores acima de 18,4 kW (25 cv). Isto se explica em virtude de o preço de inversores de frequência ainda ser muito elevado, podendo atingir 3 a 10 vezes o preço do motor elétrico, mesmo quando subsidiado pelo governo.

PALAVRAS-CHAVE: inversor de frequência, transportadores, racionalização de energia elétrica.

5.1 INTRODUÇÃO

Segundo LOPES et al. (2000) e SILVA et al. (2000), existe um grande potencial de economia de energia elétrica nas unidades armazenadoras. Dentre os principais usos de força motriz em unidades armazenadoras e fábricas de ração destacam-se os transportadores de produtores agrícolas e ventiladores. Os transportadores e os ventiladores são equipamentos que trabalham com cargas variáveis.

Os transportadores movimentam material a granel, pulverulento e em sacaria, tanto na posição horizontal quanto vertical e em planos inclinados. Dentre os diversos usos dos transportadores, pode-se citar a retirada de produto das moegas, alimentação de silos armazenadores e pulmão, máquinas de limpeza e pré-limpeza, e descarga de silos.

O conhecimento sobre as características dos transportadores torna-se de suma importância, pois, possibilita determinar o equipamento mais indicado para cada situação.

Segundo KEPLER (1975), a perfeita escolha de transportadores está condicionada a fatores, tais como a capacidade dos transportadores, a forma do produto a ser transportado, a friabilidade e a massa específica do produto, o tamanho do material, o plano de transporte (horizontal, inclinado ou vertical), as condições de trabalho (temperatura e umidade relativa), a distância a ser coberta pelo transportador, o espaço disponível para o transportador e a configuração do terreno. O regime de trabalho dos transportadores deve ser, sempre que possível, contínuo.

O Quadro 5.1 mostra a classificação e aplicabilidade dos transportadores contínuos mais utilizados durante o pré-processamento de grãos (KEPLER, 1975).

Quadro 5.1. Classificação e aplicabilidade dos transportadores

Transportador	Grãos			Capacidade			Distância			Custo			Plano de transporte			Espaço disponível			Poluição			Potência		
	Comercial	Sementes	Sacos	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Curta	Alto	Médio	Baixo	Horizontal	Inclinado	Vertical	Grande	Médio	Pequeno	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa
Correia	x	x	x	x	x	x	x				x		x	x		x	x		x	x			x	x
Arraste, tipo redler	x			x	x	x		x			x	x	x	x			x		x	x	x			
Transportador helicoidal	x				x	x			x		x		x	x	x		x			x			x	x
Calhas oscilatórias	x	x			x	x			x	x			x			x	x		x				x	
Elevador de caçambas	x	x		x	x			x	x	x	x			x	x		x			x				x
Transportador pneumático	x			x				x	x	x	x		x	x	x		x		x	x	x	x	x	

Fonte: (KEPLER, 1975; LACERDA FILHO, 2002).

De acordo com KEPLER (1975), o transportador helicoidal é constituído de aço, montado (soldado) num eixo que, ao girar, transporta o material. Pode servir como transportador e como misturador de rações, ou grãos, com imunizantes, podendo ser fixo, portátil e trabalhar em qualquer posição, inclusive na vertical. Os helicóides podem ser dos tipos padrão, recortado, agitador (para desmucilar café, misturador de pó em sementes), fita ou misto.

O passo do helicóide é a medida linear entre dois pontos equivalentes, medidos em hélices consecutivas. Geralmente, o passo é igual ao diâmetro, sendo que, para helicóides dosadores, o passo pode ser de 1/2 ou 1/3 do diâmetro para melhorar o fluxo de produto.

Existem dois diâmetros, sendo um do eixo e outro do helicóide. O material que compõe o revestimento interno do transportador depende do grau de inclinação de trabalho. Para as calhas dos transportadores, isentos de revestimento interno, em forma de U, a inclinação máxima é de 20°, e para calhas em forma de tubo arredondado, qualquer inclinação.

A folga entre o helicóide e a parede do transportador varia de acordo com o produto e a inclinação de trabalho. A folga varia, geralmente, entre 1 e 10 mm.

Pode ter somente um mancal (na extremidade do acionamento, descarga), funcionando sempre em plena carga, ou dois mancais (nas extremidades) e ainda

mancais intermediários, o que encarece e diminui a capacidade do transportador, mas não danifica significativamente o produto transportado.

O carregamento e a descarga podem ser realizados em qualquer ponto do transportador e nas extremidades de carga e descarga. O acionamento pode ser feito por transmissão de uma correia em V, por sistema de redução de polias ou por um redutor de velocidade.

Segundo LACERDA FILHO et al. (1994), o transportador helicoidal pode ser calculado, considerando-se o passo entre dois helicóides, diâmetro do helicóide, diâmetro do eixo, rotação, comprimento do helicóide, o produto a ser transportado e a massa específica do produto a ser transportado.

A capacidade de transportador helicoidal na posição horizontal é dada por

$$Q = 47,1(D^2 - d^2)p N \quad (5.1)$$

em que

- Q = capacidade de transporte, m³/min;
- D = diâmetro do helicóide, m;
- d = diâmetro do eixo do helicóide, m;
- p = passo do helicóide, m; e
- N = número de rotações por minuto do eixo do helicóide, rpm.

A potência demandada do transportador, na posição horizontal, é dada pela equação

$$P = 1,63 \cdot 10^{-4} (Q M_e L F_m) \quad (5.2)$$

em que

- P = potência requerida do transportador, kW;
- Q = capacidade de transporte, m³/min;
- M_e = massa específica do material, m³/kg;
- L = comprimento total do transportador, m;
- F_m = fator que depende do material, adimensional; e
- 1,63x10⁻⁴ = fator de conversão.

Para assegurar o movimento do transportador com eventuais sobrecargas, devido á necessidade de partida sob carga (comum, quando acaba o fornecimento de energia elétrica), quando a potência atinge valores inferiores a 3,68 kW (5 cv), deve-se fazer um incremento na potência calculada. O Quadro 5.2 mostra os fatores de correção (fator de segurança), para cada potência calculada.

Quadro 5.2. Fatores de correção (fator de segurança) em função da potência do transportador helicoidal

Potência kW	Fator de correção (Fc)
menor que 0,736 (1,0 cv)	2
de 0,736 a 1,472 (1,0 a 2,0 cv)	1,5
de 1,472 a 2,208 (2,0 a 3,0 cv)	1,25
de 2,208 a 2,944 (3,0 a 4,0 cv)	1,10
Maior que 3,68 (5,0 cv)	Sem correção

O ângulo de inclinação (α) do transportador pode ser estimado por

$$\alpha = \arctg\left(\frac{a}{b}\right) \quad (5.3)$$

em que

- α = ângulo de inclinação do transportador helicoidal, °;
- a = projeção vertical do transportador helicoidal, m; e
- b = projeção horizontal do transportador helicoidal, m.

O consumo de energia do transportador pode ser estimado segundo a equação

$$C = \frac{1000 P t}{M} \quad (5.4)$$

em que

- C = consumo de energia elétrica do transportador, kWh/t;
- P = potência requerida do transportador, kW;
- t = tempo, h; e
- M = massa de produto agrícola, kg.

O gasto com energia elétrica, no horizonte de planejamento do transportador helicoidal, foi estimado segundo a equação

$$G = C T_c n h C_t \quad (5.5)$$

em que

- G = gasto com energia elétrica no horizonte de planejamento, R\$;
- C = consumo de energia elétrica do transportador, kWh/t;
- T_c = tarifa de consumo, R\$/kWh;
- n = horizonte de planejamento, ano;
- h = número de horas de funcionamento anual, h; e
- C_t = capacidade de transporte, t/h.

Segundo Eberle, 1998, citado por CAMPANA et al. (2000) e YASKAWA, (1998), os inversores de frequência são equipamentos da eletrônica de potência que permitem o controle de velocidade e, conseqüentemente, de torque, em motores assíncronos trifásicos tipo gaiola de esquilo. Esses dispositivos encontram-se disponíveis para potências comerciais dos motores elétricos existentes no mercado, permitindo alterar, dentre outras variáveis, a frequência de alimentação de determinada carga elétrica, em uma faixa entre 1,5 e 400 Hz.

Os inversores de frequência ajustam a frequência dos motores elétricos de modo a obter rendimentos próximos ao nominal, isto é, um rendimento do motor para a condição de 100 % de carregamento nominal (HANSON et al., 1996). Além disso, alguns modelos de inversores de frequência podem controlar o fator de potência, mantendo-o superior a 92 %, que atualmente é o valor mínimo exigido por lei, (BRASIL, 2000).

A ANEEL – PROCEL/ELETOBRÁS-CEMIG lançaram o programa de incentivo ao uso de inversores de frequência (CEMIG, 2001). Com este projeto, a CEMIG tem como meta economizar 1,5 MW de potência elétrica, em 2001, somente com a utilização de inversores acoplados a motores elétricos.

Os inversores de frequência adicionam uma quantidade significativa de harmônicos na rede, que piora a qualidade do sinal elétrico da rede. Entretanto, apresentam algumas vantagens adicionais que possibilitam: (i) utilização de motores trifásicos em redes de distribuição monofásicas, desde que a capacidade de corrente do inversor seja 50 % superior àquela da corrente nominal do motor, neste caso, trabalhando como conversores de fase; (ii) minimização do prejuízo decorrente do desequilíbrio e da variação entre fases de tensão na rede elétrica sem que haja, dentro de certos limites, prejuízos ao motor e ao controlador; (iii) proteção do motor e do inversor, incluindo relé térmico de sobrecarga e proteção para evitar fuga de corrente para a terra; (iv) a frenagem e partida com aceleração controlada e, ou, frenagem rápida; (v) frenagem regenerativa; (vi) partida com o motor já em funcionamento; (vii) utilização de velocidades já pré-selecionadas; (viii) controle da corrente de partida e regulagem de velocidades; e (ix) baixo consumo de potência reativa.

Segundo WEG (2001), as principais aplicações dos inversores de frequência são: acionamentos em bombas centrífugas, bombas dosadoras de processos, ventiladores e exaustores, agitadores e misturadores, extrusoras, esteiras transportadoras, mesas de

rolos, granuladores e pelitizadoras, secadores e fornos rotativos, filtros rotativos, bobinadores e desbobinadores, máquinas de corte e solda.

Desta forma, a utilização de inversores de frequência proporciona um grande potencial de aplicação em sistemas com carga variável dos motores elétricos, adequando-os à solicitação de carga e às necessidades do processo e exigências de partida e controle.

Na planta de processamento de uma unidade armazenadora, nem sempre a capacidade do transportador helicoidal pode ser modificada. No sistema conjugado transportador helicoidal–inversor de frequência, a capacidade transportada de produto varia conforme a variação da frequência no inversor.

Segundo YASKAWA (1998), a utilização do inversor de frequência, no módulo de economia de energia, proporciona economia de energia a partir da busca constante da menor tensão de saída para cada situação da carga, economizando energia elétrica ao máximo possível. No caso de aumento de carga, a tensão de saída elevará automaticamente.

Na utilização do sistema conjugado no módulo de economia, a rotação do transportador varia. Para contornar a variação na quantidade de produto transportado causada pelo módulo de economia de energia do inversor, pode-se variar a relação de transmissão, satisfazendo as condições de redução e de quantidade produzida. A relação da redução de um conjunto polia–motor elétrico é apresentada por

$$d_M n_M = d_T n_T \quad (5.6)$$

em que

- d_M = diâmetro da polia do motor elétrico, m;
- n_M = rotação da polia do motor elétrico, rpm;
- d_T = diâmetro da polia do transportador helicoidal, m; e
- n_T = rotação da polia do transportador helicoidal, rpm.

É desconhecido um estudo sobre a utilização de inversores de frequência nos equipamentos de transporte, visando à economia de energia elétrica e automação do processo de transporte.

5.2 OBJETIVO

Este trabalho objetivou:

- estudar o desempenho do motor de um transportador helicoidal para duas inclinações diferentes, para milho e sorgo, com e sem o uso do inversor de frequência; e
- simular o uso de inversor de frequência acoplado a motores de diferentes potências e número de horas de funcionamento anual.

5.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área de armazenamento do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa – MG. Foram utilizados os seguintes equipamentos e produtos agrícolas:

- (a) balança industrial para pesagem dos produtos;
- (b) milho seco (10,1 % base úmida, bu);
- (c) sorgo seco (11,9 % bu);
- (d) transportador helicoidal;
- (e) inversor de frequência Yaskawa¹, para potência de até 2,21 kW (3 cv), tensão de 220 V;
- (f) alicate amperométrico digital de 3½ dígitos; e
- (g) carreta de madeira para transporte da massa de grãos.

O milho a granel foi retirado do silo, por meio de um transportador helicoidal tendo sido testadas duas inclinações diferentes. Procedeu-se a medida da corrente elétrica e da tensão de alimentação do motor do transportador helicoidal, bem como a capacidade do transportador. Inicialmente, realizou-se o experimento sem a utilização do inversor de frequência, ou seja, com a frequência de saída da rede (60 Hz).

Devido às dimensões da carreta e das bicas de alimentação de produto, o menor ângulo de inclinação possível do transportador helicoidal foi de 13,9° e o ângulo de máxima inclinação de 20,4° para os dois produtos transportados, milho e sorgo, (Quadro 5.3).

Quadro 5.3. Ângulos de inclinação do transportador helicoidal nos testes com inversor de frequência para o transporte de milho e sorgo

Produto	Mínimo (°)	Máximo(°)
Milho	13,9°	17,2°
Sorgo	16,3°	20,4°

Para os ângulos de inclinação descritos no Quadro 5.3, procedeu-se a medição dos parâmetros elétricos, tais como corrente elétrica, tensão, potência elétrica útil e frequência da rede, enquanto acontecia o transporte de produto. O tempo de transporte foi cronometrado, manualmente, com um relógio digital. A massa de produto foi determinada utilizando-se uma balança industrial.

Após a conclusão do experimento com o transportador helicoidal, para os dois produtos diferentes e as duas inclinações do transportador, acoplou-se um inversor de frequência, para potências até 2,21 kW (3 cv), ao motor do transportador helicoidal e repetiu-se todo o experimento. Além dos parâmetros elétricos mencionados, foram coletados, ainda, a corrente elétrica e a potência útil no inversor. A Figura 5.1 mostra o experimento.



Figura 5.1. Vistas do transportador helicoidal utilizado nos testes.

Utilizou-se o módulo de economia de energia elétrica do inversor de frequência, para maximizar o rendimento do transportador helicoidal, para cada inclinação e produto diferente.

Acoplou-se, ao motor do transportador helicoidal, o inversor de frequência de 2,21 kW (3 cv) (Figura 5.2). Como o motor, que estava acoplado ao transportador

¹ A citação de uma marca comercial não implica em qualquer vínculo ou compromisso com o fabricante.

helicoidal em funcionamento na área de armazenamento, não era próprio para funcionamento com inversor de frequência, utilizou-se um ventilador axial para refrigeração adicional do motor elétrico, visto que esse motor não foi fabricado especificamente para utilização com inversor de frequência, existindo, assim, um aquecimento extra que pode afetar o índice de rendimento do motor.



Figura 5.2. Vista de alguns equipamentos de medição: trena, inversor de frequência e tacômetro.

Em cada fase da rede, foram medidas a tensão e a corrente com um alicate amperométrico, conforme Figura 5.3.

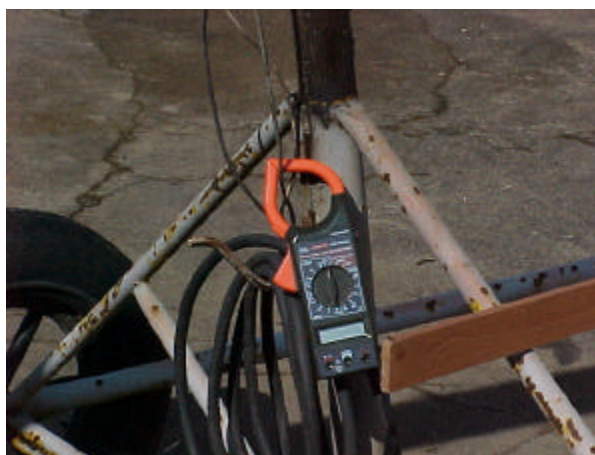


Figura 5.3. Alicate amperométrico para medição da corrente elétrica e da tensão de cada fase do motor elétrico do transportador helicoidal.

Na medição das diferentes inclinações do transportador, utilizou-se uma trena de vinte metros, um esquadro e três réguas de madeira, conforme Figura 5.4.



Figura 5.4. Medição da inclinação do transportador helicoidal.

Na medição da rotação do motor, utilizou-se um tacômetro digital. Para determinação da massa específica dos grãos de milho, utilizou-se uma balança analítica e um medidor de peso hectolítrico. Para determinação do teor de umidade dos grãos, utilizou-se o método padrão de estufa, $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}$, 24 h (BRASIL, 1992).

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Quadros de 5.4 a 5.7, apresentam os dados coletados do motor de 1,47 kW (2 cv) em plena carga, com e sem a utilização do inversor de frequência, para duas inclinações diferentes do transportador helicoidal, uma máxima e uma mínima, para cada um dos dois produtos diferentes. No Quadro 5.4 são apresentados os dados do motor elétrico, os dados do transportador e os dados elétricos dos motores sob carga.

Quadro 5.4. Dados do transportador helicoidal e do motor elétrico para o transporte de milho para 13,9° de inclinação

Equipamento	Transportador helicoidal	
	Sem inversor	Com inversor
	Motor elétrico	
Local de funcionamento	Armazenamento	Armazenamento
Fabricante	Montgomery	Montgomery
Potência nominal (kW)	1,47 (2 cv)	1,47 (2 cv)
Tensão nominal (V)	220 / 380	220 / 380
Rotação nominal (rpm)	1.735,0	1.735,0
Corrente nominal (A)	5,9 / 3,4	5,9 / 3,4
	Transportador	
Rotação da polia motora (rpm)	1.612,0	1.290,0
Rotação da polia movida (rpm)	530,0	430,0
Passo entre helicóides (cm)	12,0	12,0
Diâmetro do helicóide(cm)	12,0	12,0
Diâmetro do eixo(cm)	3,60	3,56
Comprimento do helicóide (m)	8,4	8,4
Produto a ser transportado	Milho	Milho
Massa específica (kg/m ³)	712,6	712,6
Diâmetro da polia maior (m)	0,4	0,4
Diâmetro da polia menor (m)	0,1	0,1
	Resultado das medições	
Horário do teste (h)	10:10	10:44
Massa de milho (kg)	588,0	842,0
Ângulo de inclinação (°)		13,9
Tempo de teste (minuto)	3,0	5,3
Corrente sob carga (A)		
I ₁ (A)	4,5 / 5,4 / 5,4	4,4 / 4,4 / 3,5
I ₂ (A)	5,5 / 5,3 / 5,4	4,5 / 4,6 / 3,3
I ₃ (A)	5,3 / 6,3 / 6,2	4,5 / 3,3 / 3,4
I média (A)	5,5	4,0
Potência elétrica útil (kW)	0,4 a 0,8	0,5 a 0,7
Corrente no inversor (A)	3,5	3,1
Tensão da rede (V)	218,0 / 215,0 / 218,0	

O Quadro 5.5, encontram-se os dados do motor elétrico, os dados do transportador e os dados elétricos dos motores sob carga.

Quadro 5.5. Dados do transportador helicoidal e do motor elétrico para o transporte de sorgo para 17,2° de inclinação

Equipamento	Transportador Helicoidal	
	Sem inversor	Com inversor
	Motor elétrico	
Frequência (Hz)	60	60
Local de funcionamento	Armazenamento	Armazenamento
Fabricante	Montgomery	Montgomery
Potência nominal (kW)	1,47 (2 cv)	1,47 (2 cv)
Tensão (V)	220 / 380	220 / 380
Rotação nominal (rpm)	1.735,0	1.735,0
Corrente nominal (A)	5,9 / 3,4	5,9 / 3,4
	Transportador	
Rotação da polia motora (rpm)	1.772,0	1.687,0
Rotação da polia movida (rpm)	562,0	548,0
Passo entre helicóides (cm)	12,0	12,0
Diâmetro do helicóide(cm)	12,0	12,0
Diâmetro do eixo(cm)	3,6	3,6
Comprimento do helicóide (m)	8,4	8,4
Produto a ser transportado	sorgo	sorgo
Massa específica (kg/m ³)	733,8	733,8
Diâmetro da polia maior (m)	0,4	0,4
Diâmetro da polia menor (m)	0,1	0,1
	Dados	
Horário do teste (h)	11:24	11:12
Massa de sorgo (kg)	552,0	978,0
Ângulo de inclinação (°)		17,2
Tempo de teste (minuto)	2,1	4,0
	Corrente sob carga	
I ₁ (A)	3,4 / 3,5 / 3,7	3,8 / 3,9 / 3,9
I ₂ (A)	4,6 / 4,2 / 4,4	3,7 / 3,8 / 3,8
I ₃ (A)	4,1 / 4,4 / 4,4	4,3 / 4,2 / 4,2
I média (A)	4,1	4,0
Potência útil (kW)	0,4 a 1,0	0,7 a 1,0
Corrente no inversor (A)	3,8	3,6
Tensão da rede (V)	218,0 / 215,0 / 218,0	

O Quadro 5.6 apresenta os dados do motor elétrico, os dados do transportador e os dados elétricos dos motores sob carga.

Quadro 5.6. Dados do motor elétrico, do transportador e dados elétricos dos motores sob carga para transporte de milho para inclinação de 16,3°

Equipamento	Transportador Helicoidal	
	Sem inversor	Com inversor
	Motor elétrico	
Local de funcionamento	Armazenamento	Armazenamento
Fabricante	Montgomery	Montgomery
Potência nominal (kW)	1,47 (2 cv)	1,47 (2 cv)
Tensão (V)	220 / 380	220 / 380
Rotação nominal (rpm)	1.735,0	1.735,0
Corrente nominal (A)	5,9 / 3,4	5,9 / 3,4
	Transportador	
Rotação da polia motora (rpm)	1.701,0	1.728,0
Rotação da polia movida (rpm)	573,0	568,0
Passo entre helicóides (cm)	12,0	12,0
Diâmetro do helicóide(cm)	12,0	12,0
Diâmetro do eixo(cm)	3,6	3,6
Comprimento do helicóide (m)	8,4	8,4
Produto a ser transportado	Milho	Milho
Massa específica (kg/m ³)	712,64	712,64
Diâmetro da polia maior (m)	0,4	0,4
Diâmetro da polia menor (m)	0,1	0,1
	Dados	
Horário do teste (h)	15:30	16:00
Massa de milho (kg)	442,0	576,0
Ângulo de inclinação (°)		16,3
Tempo de teste (minuto)	2,0	2,4
	Corrente sob carga	
I ₁ (A)	4,0 / 4,0 / 4,1	4,3 / 4,2 / 4,3
I ₂ (A)	3,5 / 3,5 / 3,6	4,3 / 4,4 / 4,1
I ₃ (A)	3,9 / 4,2 / 4,0	4,5 / 4,5 / 4,6
I média	3,9	4,3
Potência útil (kW)	0,6 a 1,0	0,8 a 1,1
Corrente no inversor (A)	3,7	4,2
Tensão da rede (V)	218,0 / 215,0 / 218,0	

O Quadro 5.7 apresenta os dados do motor elétrico, do transportador e dos dados elétricos dos motores sob carga.

Quadro 5.7. Dados do motor elétrico, do transportador e dos motores sob carga para transporte de sorgo para inclinação de 20,4°

Equipamento	Transportador Helicoidal	
	Sem inversor	Com inversor
	Motor elétrico	
Local de funcionamento	Armazenamento	Armazenamento
Fabricante	Montgomery	Montgomery
Potência nominal (kW)	1,47 (2 cv)	1,47 (2 cv)
Tensão (V)	220 / 380	220 / 380
Rotação nominal (rpm)	1.735,0	1.735,0
Corrente nominal (A)	5,9 / 3,4	5,9 / 3,4
	Transportador	
Rotação da polia motora (rpm)	1.765,0	1.671,0
Rotação da polia movida (rpm)	585,0	534,0
Passo entre helicóides (cm)	12,0	12,0
Diâmetro do helicóide(cm)	12,0	12,0
Diâmetro do eixo(cm)	3,6	3,6
Comprimento do helicóide (m)	8,4	8,4
Produto a ser transportado	sorgo	sorgo
Massa específica (kg/m ³)	733,8	733,8
Diâmetro da polia maior (m)	0,4	0,4
Diâmetro da polia menor (m)	0,1	0,1
	Dados	
Horário do teste (h)	14:50	14:38
Massa de sorgo (kg)	398,0	500,0
Ângulo de inclinação (°)		20,4
Tempo de teste (minuto)	2,03	2,15
	Corrente sob carga	
I ₁ (A)	3,7 / 3,6 / 3,5	3,9 / 4,1 / 4,1
I ₂ (A)	3,3 / 4,2 / 4,1	4,1 / 4,3 / 4,3
I ₃ (A)	3,8 / 4,1 / 3,9	3,7 / 4,2 / 4,1
I média (A)	3,8	4,1
Potência útil (kW)	0,6 a 1	0,7 a 1,0
Corrente no inversor (A)	3,7	4,1
Tensão da rede (V)		218 / 215 / 218

O Quadro 5.8 apresenta os parâmetros de entrada, para análise de vida útil do motor do transportador do motor elétrico sob carga.

Quadro 5.8. Parâmetros de entrada para análise de vida útil do motor elétrico do transportador helicoidal sob carga

Parâmetros de entrada		
Número de horas de funcionamento anual	h	3.456
Vida útil do motor	ano	10
Tarifa de consumo médio da UFV	R\$/kWh	0,16

Os Quadros 5.9 e 5.10 apresentam o consumo e o gasto com energia elétrica na vida útil do motor elétrico, para duas inclinações diferentes, no transporte de milho e sorgo, com e sem o uso de inversor de frequência.

Quadro 5.9. Consumo de energia elétrica e gasto com energia elétrica durante a vida útil do motor elétrico, para a menor inclinação do transportador helicoidal

Inclinação menor	Sem inversor	Com inversor
Milho		
I média (A)	5,9	4,0
Corrente no inversor (A)	3,5	3,1
Potência elétrica útil (kW)	0,4 a 0,8	0,5 a 0,7
Tempo (s)	180	333
Massa transportada	588	842
Consumo específico de energia elétrica (kWh/t)	0,051	0,063
Gasto com energia elétrica (R\$)	3.317,8	3.317,8
Sorgo		
I média (A)	4,08	3,96
Corrente no inversor (A)	3,8	3,6
Potência elétrica útil (kW)	0,4 a 1,0	0,7 a 1,0
Tempo (s)	137	240
Massa transportada (kg)	552	978
Consumo específico de energia elétrica (kWh/t)	0,046	0,058
Gasto com energia elétrica (R\$)	3.870,7	4.700,2

Quadro 5.10. Consumo de energia elétrica e gasto com energia elétrica durante a vida útil do motor elétrico, para a maior inclinação do transportador helicoidal

Inclinação maior	Sem inversor	Com inversor
Milho		
I média (A)	3,87	4,34
Corrente no inversor (A)	3,7	4,2
Potência elétrica útil (kW)	0,6 a 1,0	0,8 a 1,1
Tempo (min)	123	187
Massa transportada	442	576
Consumo específico de energia elétrica (kWh/t)	0,061	0,073
Gasto com energia elétrica (R\$)	4.423,7	5.253,12
Sorgo		
I média (A)	3,78	4,08
Corrente no inversor (A)	3,7	4,10
Potência elétrica útil (kW)	0,6 a 1,0	0,7 a 1,0
Tempo (s)	125	145
Massa transportada	398	500
Consumo específico de energia elétrica (kWh/t)	0,069	0,064
Gasto com energia elétrica (R\$)	4.423,7	4.700,16

Nos Quadros 5.9 e 5.10 observa-se que o transportador sem a utilização do inversor de frequência apresentou maior consumo de energia elétrica, para ambas as inclinações, para os dois produtos (Figura 5.5).

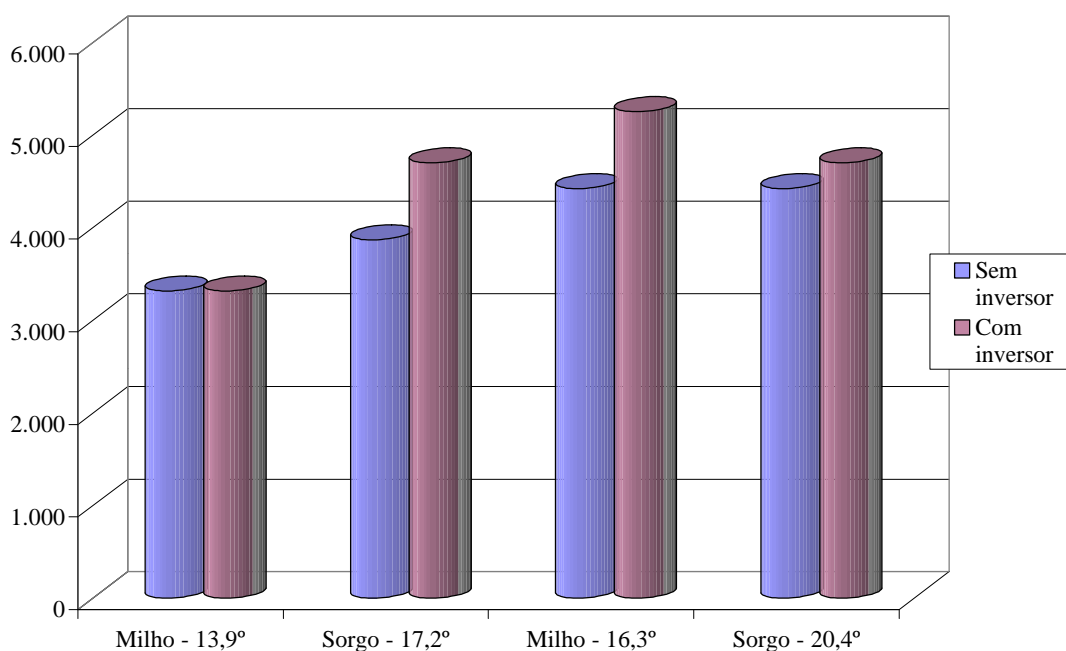


Figura 5.5. Gastos anuais com energia elétrica para transporte de milho e sorgo, com e sem o uso de inversor de frequência em função da inclinação do transportador helicoidal.

De acordo com o Figura 5.5, a utilização do inversor de frequência, acoplado ao motor elétrico do transportador, não proporcionou economia de energia elétrica, durante o período de vida útil do motor elétrico, devido ao módulo de economia que controlou somente a tensão de entrada no sistema. Para o transporte de milho, com ângulo de inclinação do transportador helicoidal de $13,9^\circ$, não houve economia de energia elétrica; para o transporte de sorgo, com ângulo de inclinação do transportador helicoidal de $17,2^\circ$, houve um decréscimo de 21,4 % na economia de energia elétrica, para transporte de milho com ângulo de inclinação do transportador helicoidal de $16,3^\circ$, um decréscimo de 18,8 % e um decréscimo de 6,3 % para transporte de soja com um ângulo de inclinação do transportador helicoidal de $20,4^\circ$.

O gasto com energia elétrica aumentou com o aumento no ângulo de inclinação do transportador helicoidal, para os produtos agrícolas milho e sorgo.

Observou-se, ainda, que a relação entre massa específica e consumo de energia elétrica, para um mesmo fluxo de produto, é crescente, assim, quanto maior a massa específica do produto, maior será o consumo de energia elétrica. O transporte do sorgo, em relação ao milho, apresentou um maior gasto com energia elétrica, devido à maior massa específica do sorgo.

Os Quadros 5.11 e 5.12 apresentam a rotação e o diâmetro das polias motora e movida para inclinação menor e maior do transportador helicoidal com e sem o uso de inversor de frequência, no transporte de milho e sorgo, respectivamente.

De posse dos dados dos Quadros 5.11 e 5.12, observou-se que para se manter a rotação requerida pelo inversor no módulo de economia elétrica, e atender a rotação do transportador, evitando assim, a diminuição na quantidade de produto transportado por unidade de tempo necessitaria se substituir a polia movida, de acordo com a equação 5.6. Para realizar o transporte de milho, usando o de inversor de frequência, para a menor inclinação, substituiu-se a polia movida de 0,36 m de diâmetro por uma de 0,29 m. Para o transporte de sorgo, usando o inversor de frequência para a menor inclinação, a polia movida será a mesma. Para realizar o transporte de milho, usando o inversor de frequência para a maior inclinação, substituiu-se a polia movida de 0,36 m por uma de 0,34 m. Para o transporte de sorgo, usando o inversor de frequência para a menor inclinação, a polia movida será a mesma.

Quadro 5.11. Rotação e diâmetro das polias motora e movida para inclinação menor do transportador helicoidal com e sem o uso de inversor de frequência

Inclinação menor	Sem inversor	Com inversor
	Milho	
Rotação da polia motora (rpm)	1612,0	1290,0
Rotação da polia movida (rpm)	530,0	430,0
Diâmetro da polia movida (m)	0,40	0,40
Diâmetro da polia motora (m)	0,10	0,10
Rotação da polia motora (rpm)	-	1290,0
Rotação da polia movida (rpm)	530,0	-
Diâmetro da polia movida (m)	-	0,30
Diâmetro da polia motora (m)	0,10	-
	Sorgo	
Rotação da polia motora (rpm)	1772,0	1687,0
Rotação da polia movida (rpm)	562,0	548,0
Diâmetro da polia movida (m)	0,40	0,40
Diâmetro da polia motora (m)	0,10	0,10
Rotação da polia motora (rpm)	-	1687,0
Rotação da polia movida (rpm)	562,0	-
Diâmetro da polia movida (m)	-	0,40
Diâmetro da polia motora (m)	0,10	-

Quadro 5.12. Rotação e diâmetro das polias motora e movida para inclinação maior do transportador helicoidal com e sem o uso de inversor de frequência

Inclinação maior	Sem inversor	Com inversor
	Milho	
Rotação da polia motora (rpm)	1765,0	1671,0
Rotação da polia movida (rpm)	585,0	534,0
Diâmetro da polia movida (m)	0,40	0,40
Diâmetro da polia motora (m)	0,10	0,10
Rotação da polia motora (rpm)	-	1671,0
Rotação da polia movida (rpm)	585,0	-
Diâmetro da polia movida (m)	-	0,30
Diâmetro da polia motora (m)	0,10	-
	Sorgo	
Rotação da polia motora (rpm)	1701,0	1728,0
Rotação da polia movida (rpm)	573,0	568,0
Rotação da polia motora (rpm)	-	1728,0
Rotação da polia movida (rpm)	573,0	-
Diâmetro da polia movida (m)	-	0,36
Diâmetro da polia motora (m)	0,12	-

O Quadro 5.13 apresenta os dados simulados para um motor elétrico de 18,4 kW (25 cv) com a utilização do inversor de frequência, variando-se o índice de carregamento de 10 a 100 %. No preço do inversor de frequência, levou-se em consideração o subsídio de até 20 % oferecido pelas concessionárias de energia elétrica, juntamente com o comando e proteção do motor. O Quadro 5.13 mostra os dados de entrada para análise de um motor de 18,4 kW (25 cv), 4 pólos, padrão para 3.000, 5.500 e 8.000 horas de funcionamento anual, com a utilização do inversor de frequência.

Quadro 5.13. Dados para análise de um motor de 18,4 kW (25 cv), 4 pólos, padrão para 3.000, 5.500 e 8.000 horas de funcionamento anual, com a utilização do inversor de frequência

Dados	Unidade	Motor padrão
Potência do motor	kW	18,4 (25 cv)
Preço do motor elétrico	R\$	985,70
Preço do inversor de frequência	R\$	= 985,70 (10 x 0,80) - 985,70
Rendimento do motor elétrico	(%)	65,9 a 89,2
Número de horas de funcionamento anual	h	3.000 / 5.500 / 8.000
Índice de carregamento	(%)	10 a 100
Juros	%/ano	10
Custo unitário da energia fora de ponta	R\$/kWh	0,16
Aumento do preço da energia acima da inflação	%/ano	2
Manutenção anual	%	1
Horizonte de planejamento	ano	10
Número de pólos	decimal	4

De posse dos dados do Quadro 5.13, simulou-se o potencial de economia para o motor de 18,4 kW (25 cv); o preço obtido para o motor elétrico foi de R\$ 985,70. No preço do inversor, incluiu-se 20 % de subsídio que os programas de concessionárias de energia elétrica, como a CEMIG, oferecem. Ainda do preço total do inversor foi subtraído de comando e proteção. Portanto, o preço considerado para o inversor de frequência correspondeu a 10 vezes aquele do motor padrão, menos os descontos, o que resultou em R\$ 6.899,90. A simulação foi feita para um período de funcionamento anual de 3.000, 5.500 e 8.000 horas. Para cada índice de carregamento, variando-se a carga de 10 em 10 pontos percentuais de 10 a 100 %, calculou-se o índice de rendimento correspondente até o índice de carregamento nominal com o rendimento máximo, que constituiu a base para os cálculos de economia percentual devido ao uso do inversor de frequência. O aumento da tarifa de energia elétrica acima da inflação

considerada foi 2 %; a taxa de manutenção foi 1 % do preço de um motor novo de mesma potência distribuída, linearmente, ao longo de sua vida útil. O motor elétrico estudado foi de quatro pólos e o custo unitário da energia elétrica fora de ponta foi de R\$ 0,16.

A Figura 5.6 apresenta a economia líquida no horizonte de planejamento, com o uso de inversor de frequência em um motor elétrico tipo padrão de 18,4 kW (25 cv), 4 pólos, em função do número de horas de funcionamento anual e do índice de carregamento.

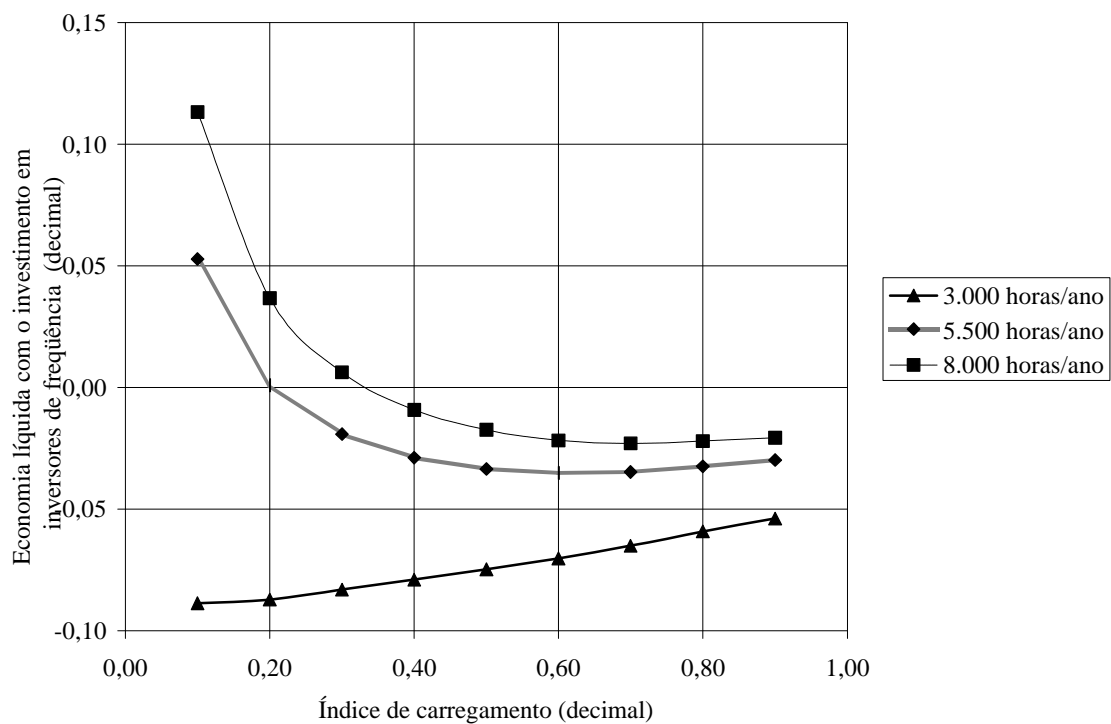


Figura 5.6. Economia líquida no horizonte de planejamento com o uso de inversor de frequência em um motor elétrico tipo padrão de 18,4 kW (25 cv), 4 pólos, em função do número de horas de funcionamento anual e do índice de carregamento.

De acordo com a Figura 5.6, a utilização de inversores de frequência é justificada para motores cujo número de horas de funcionamento anual é igual ou superior a 5.500 horas. Observou-se também, que o investimento em inversores de frequência justifica-se para duas condições estudadas, ou seja, cargas que tenham um carregamento abaixo de 20 % e 5.500 horas de funcionamento anual e cargas com índice de carregamento inferior a 38 % e 8.000 horas de funcionamento anual. Acredita-

se que o elevado preço inicial do inversor de frequência seja o principal fator que contribui para restringir a utilização deste equipamento.

O Quadro 5.14, apresenta os dados simulados para três motores elétricos, 18,4 kW (25 cv), 55,2 kW (75 cv) e 92 kW (125 cv) com a utilização do inversor de frequência, variando-se o índice de carregamento de 10 a 100 % com 5.500 horas de funcionamento anual. O Quadro 5.14, apresenta os dados de entrada para análise dos motores de 18,4 kW (25 cv), 55,2 kW (75 cv) e 92 kW (125 cv), 4 pólos, padrão, para 5.500 horas de funcionamento anual com a utilização do inversor de frequência.

Quadro 5.14. Dados de entrada para análise dos motores de 18,4 kW (25 cv), 55,2 kW (75 cv) e 92 kW (125 cv), 4 pólos, padrão para 5.500 horas de funcionamento anual com a utilização do inversor de frequência

Dados	Unidade	Motor padrão
Potência dos motores elétricos	kW (cv)	18,4 (25) / 55,2 (75) / 92,0 (125)
Preço do motor elétrico	R\$	985,7 / 3.417,62 / 5.942,95
Preço do inversor de frequência para 18,4 kW (25 cv)	R\$	5.322,80
Preço do inversor de frequência para 55,2 kW (75 cv)	R\$	7.518,80
Preço do inversor de frequência para 92,0 kW (125 cv)	R\$	13.074,50
Rendimento do motor elétrico	(%)	65,90 a 92,00
Número de horas de funcionamento anual	h	5.500
Índice de carregamento	(%)	10 a 100
Juros	%/ano	10
Custo unitário da energia fora de ponta	R\$/kWh	0,16
Aumento do preço da energia acima da inflação	%/ano	2
Manutenção anual	% do custo inicial	1
Horizonte de planejamento	ano	10
Número de pólos	adimensional	4

De posse dos dados do Quadro 5.14, simulou-se o potencial de economia para os motores de 18,40 kW (25 cv), 55,20 kW (75 cv) e 92,00 kW (125 cv), para 5.500 horas de funcionamento anual (Figura 5.7). Nessa simulação, foram utilizados motores trifásicos, tipo padrão, de 18,40 kW (25 cv); 55,20 kW (75 cv); e 92,00 kW (125 cv), com seus respectivos rendimentos, com a carga variando de 10 em 10 pontos percentuais de 10 a 100 %. A faixa de rendimento dos motores variou de 65,90 a 92,00 %.

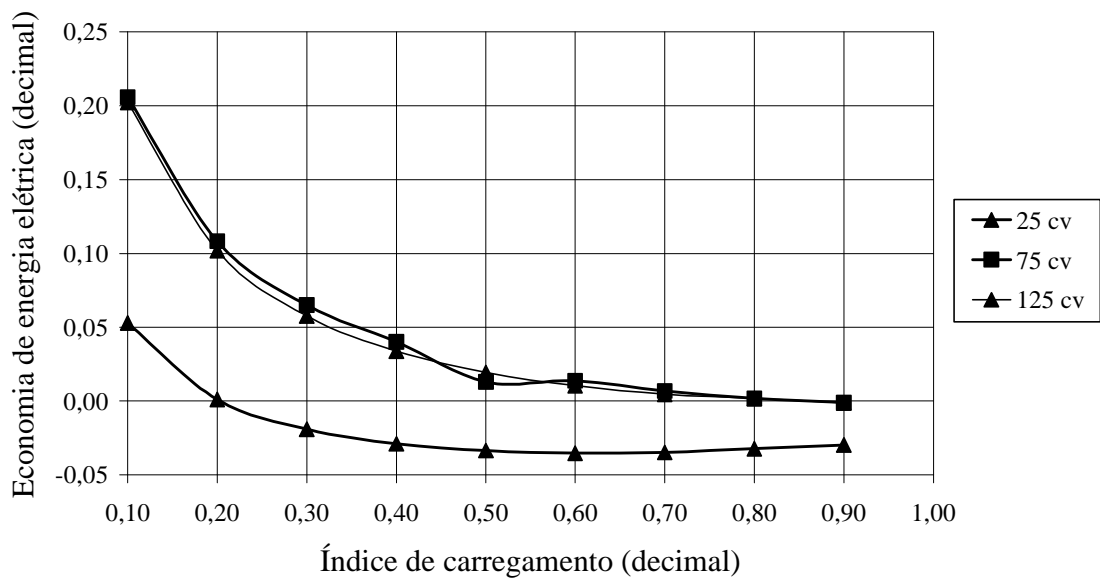


Figura 5.7. Economia líquida no horizonte de planejamento com investimento em inversores de frequência para motores de 18,4 (25 cv); 55,2 (75 cv) e 92 kW (125 cv) com 5.500 horas de funcionamento anual.

De acordo com a Figura 5.7, a economia percentual com a utilização de inversores de frequência, no horizonte de planejamento, é maior para índices de carregamento menores. Observa-se também que, devido ao alto custo inicial de inversores de frequência, especialmente para motores de potência até 18,4 kW (25 cv), eles são viáveis, economicamente, somente para motores de potência superiores a 55,2 kW (75 cv) (CAMPANA et al., 2000).

5.5 CONCLUSÃO

As principais conclusões desse trabalho foram:

- a utilização do inversor de frequência acoplado ao motor do transportador helicoidal, utilizando-se o módulo de economia de energia elétrica, não proporcionou economia significativa de energia elétrica, para nenhuma das duas inclinações testadas para o transporte de milho e de sorgo;
- a minimização do consumo de energia elétrica, mantendo-se a capacidade do transportador helicoidal comandado por inversor de frequência, é feita pela escolha correta do jogo de polias;
- a simulação do inversor de frequência acoplado a um motor de 18,4 kW (25 cv), para 3.000, 5.500 e 8.000 horas de funcionamento anual, mostrou que a utilização de inversores de frequência justifica-se para motores com um mínimo de utilização de 5.500 horas de funcionamento anual;
- o investimento em um inversor de frequência é viável, economicamente, para cargas variáveis com carregamento médio abaixo de 20 %, para 5.500 horas de funcionamento anual, e para carregamento abaixo de 38 % para 8.000 horas de funcionamento anual para um motor de 18,4 kW (25 cv);
- a simulação da utilização de inversor de frequência em motores de 55,2 kW (75 cv) e 92 kW (125 cv), para 5.500 horas de funcionamento anual, mostra que a economia líquida percentual no horizonte de planejamento, é positiva para índices de carregamento de até 90 %; e

- a atratividade econômica do uso de inversor de frequência acontece, para motores de potência igual ou superiores a 55,2 kW (75 cv). A razão principal é o elevado custo inicial do inversor de frequência.

5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 1992. 365p.
- BRASIL. **Resolução n. 456, de 29 de novembro de 2000**. Estabelece, de forma atualizada e consolidada, as condições Gerais de Fornecimento de energia elétrica. Retificado no Diário Oficial da República Federativa do Brasil de 15 de dezembro de 2000, Seção 1, v.138, n. 246 - E, p.142.
- CAMPANA, S. **Racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação tipo pivô central e aspersão convencional**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 2.000. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- CAMPANA, S.; OLIVEIRA FILHO, D; SOARES, A. A.; OLIVEIRA, R. A.; HERMSDORFF, W. Inversores de frequência – uma alternativa para racionalização do uso de energia elétrica em sistemas de irrigação pivô central. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL – AGRENER, 3, 2000, Campinas. **Anais...** Campinas, SP. (CD ROM).
- CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Soluções Energéticas - Programa Inversores de Frequência**. Belo Horizonte: CEMIG, 2001.
- HANSON, B.; WEIGAND, C.; ORLOFF, S. **Performance of electric irrigation pumping plants using variable frequency drives**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, May/June, p.179 – 182, 1996.
- KEPLER, E. A. **Transportadores e máquina de limpeza**. Panambi, RS: Kepler-Weber S.A., 1975. 16p.

LACERDA FILHO, A. F.; AFONSO, A. D. L.; SILVA, J. de S. **Manuseio de grãos e farelos**. Caderno didático Engenharia na Agricultura, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1994, n.15.

LACERDA FILHO, A. F. **Comunicação pessoal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2002.

LOPES, R. P.; AFONSO, A. D. L.; SILVA, J. de S. Energia no pré-processamento de produtos agrícolas. In: SILVA, J., de S. e (Ed.). **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. p 191 - 217.

SILVA, J. de S. e; LACERDA FILHO, A. F. de; VIEIRA, G. Manuseio de grãos. In: SILVA, J. de S. e (Ed.), **Secagem e armazenamento de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000. p 279 - 305.

WEG S. A. **Catálogo “Inversores de Frequência”**. Jaraguá do Sul, 2000. (<http://www.weg.com.br>).data da consulta: mai. 2001.

YASKAWA ELETRIC AMERICA, INC. - **Variable torque inverter**. VS – 616 Pc5 / P5 Series “Mini” user’s manual. november, 32 p. 1998.

6. CONCLUSÃO GERAL

Este estudo abrangeu a racionalização do uso de energia em fábricas de ração. Foram focalizados: (i) adequação de força motriz; (ii) desenvolvimento de programa computacional para o uso na adequação de força motriz; e (iii) uso de inversor de frequência em um transportador helicoidal. Demonstrou-se o grande potencial da adequação de força motriz e da utilização de inversores de frequência, sob o ponto-de-vista mecânico, elétrico, e econômico.

6.1 Racionalização do uso de energia elétrica para obtenção de força motriz em fábrica de ração - estudo de caso

Foi desenvolvida uma metodologia para adequação de força motriz, em processos industriais.

A aplicação da metodologia para adequação de força motriz, na fábrica de ração da Universidade Federal de Viçosa, resultou em um potencial de redução dos gastos com energia elétrica de cerca de 22,6 %. Este potencial pode ser alcançado, caso as particularidades do processo sejam adequadas como as exigências eletromecânicas do moinho e o horário de funcionamento da fábrica de ração.

Destaca-se, ainda, que motores adequados e eficientes fariam o mesmo trabalho feito pelos motores em funcionamento na fábrica de ração, demandando menor potência e energia e portanto economizando gastos com energia elétrica.

Verificou-se que o motor do moinho principal está, corretamente dimensionado. No entanto, caso fosse possível modificar o processo, uma forma de racionalização do

uso de energia elétrica seria substituir o motor padrão de 36,8 kW (50 cv) por um motor de alto rendimento de 17,4 kW (25 cv). Neste caso, o número de horas de funcionamento anual seria maximizado de 1.500 horas para 3.000 horas, o que implicaria em aumento das atuais 8 para 12 horas de trabalho, por dia. Há que se ponderar, no entanto, as possíveis implicações nos custos com mão-de-obra para a realização do trabalho, durante períodos mais prolongados.

Ao dimensionar os equipamentos da planta de uma indústria, deve-se considerar opções de adequação de força motriz, tais como manter o índice de carregamento dos motores elétricos entre 80 e 100 %, exceto para aqueles equipamentos que podem partir sob carga.

6.2 Racionalização do uso de força motriz em fábrica de ração da Pif Paf – estudo de caso

Foi aplicada a metodologia para adequação de força motriz em fábrica de ração de porte comercial, fábrica de ração da empresa Pif Paf, observando-se a existência de um grande potencial de economia de energia elétrica, tanto em relação ao consumo quanto à demanda de energia elétrica.

A adequação de força motriz do ponto-de-vista elétrico, representou um potencial de diminuição de 64,9 % na potência demandada, utilizando-se, sempre, a melhor opção de substituição dos motores elétricos e considerando a possibilidade de otimização do número de horas de funcionamento anual.

No entanto, a adequação de força motriz do ponto-de-vista eletromecânico (mantendo o número de horas de funcionamento anual) mostrou que o superdimensionamento dos transportadores de arraste foi 36,6 %, dos transportadores helicoidais foi 64,4 % e dos elevadores de caçamba foi 42,4 %, considerando-se que o conjunto motor-transportador sugerido executará o mesmo trabalho que o conjunto existente executa.

Comparando as opções de análise dos motores elétricos, observou-se que: (i) as potências utilizadas no projeto da fábrica, sempre, foram superiores, ou iguais às aquelas do dimensionamento obtido por meio da metodologia desenvolvida para adequação de força motriz em processos industriais, ou às aquelas do dimensionamento dos motores elétricos segundo a literatura técnica pertinente, confirmando assim, a existência de superdimensionamento dos motores elétricos da fábrica; e (ii) o dimensionamento dos

motores por meio da metodologia desenvolvida de adequação de força motriz, e o dimensionamento dos motores elétricos segundo a literatura técnica pertinente, foram os que mais se aproximaram entre si.

O superdimensionamento dos motores elétricos é devido em parte, aos seguintes fatores: (i) aplicação de sucessivos coeficientes de segurança, no decorrer do projeto; (ii) falta de conhecimento sobre a carga e sobre as diferentes condições de trabalho diferentes daquela especificada pelo fabricante; e (iii) utilização de motores elétricos de potência superior àquelas especificadas pelo projeto. Esta última situação ocorre por ocasião da manutenção e, ou queima de motores e quando os critérios técnicos não são observados.

Para evitar o superdimensionamento de motores, é necessário: (i) realizar estudos no sentido de verificar a possibilidade de realização do remanejamento interno de motores elétricos, usando-se metodologias de adequação de força motriz; (ii) utilizar, coerentemente, o coeficiente de segurança no dimensionamento de equipamentos; e (iii) utilizar curvas características de máquinas e equipamentos agrícolas, no pré-processamento de grãos.

6.3 Desenvolvimento de programa computacional para adequação de força motriz

O desenvolvimento do programa computacional para adequação de força motriz mostrou-se útil, pois, integra dados dos catálogos eletrônicos de motores, programa para digitalização de imagens e cálculos técnicos e econômicos.

O programa computacional mostrou-se eficiente para adequação de força motriz, pois, seus resultados simulados corresponderam à simulação realizada com o catálogo eletrônico dos fabricantes de motores elétricos e planilhas eletrônicas.

6.4 Simulação do uso do inversor de frequência acoplado a transportadores de produtos agrícolas

A utilização do inversor de frequência, no módulo de economia (estabilização de tensão), acoplado ao motor do transportador helicoidal não proporcionou uma economia média significativa, que por si só, justifique o investimento. Esta análise foi feita para milho e sorgo, para um horizonte de planejamento de 10 anos, sendo estudados diferentes inclinações do transportador helicoidal.

Para manter a produção e racionalizar o uso de energia elétrica, com o uso do inversor de frequência, deve-se suprir, simultaneamente, a rotação do transportador e a rotação requerida pelo inversor de frequência, usando-se um jogo de polias de redução ajustado para a rotação de máxima capacidade de transporte com o menor consumo de energia elétrica.

A viabilidade econômica do uso de inversor de frequência em motores é restrita às cargas que demandam um número de horas de funcionamento anual relativamente alto, que sejam cargas variáveis, tenham um carregamento médio inferior a 40 % e necessitem de motores acima de 18,4 kW (25 cv). Tal exigência justifica-se pelo elevado preço de inversores de frequência, podendo atingir 3 a 10 vezes o preço do motor elétrico, mesmo quando subsidiado pelo governo.

7. APÊNDICES

APÊNDICE A. DADOS DOS MOTORES ELÉTRICOS EM FUNCIONAMENTO DE FÁBRICA DE RAÇÃO

Dados dos motores elétricos em funcionamento da fábrica de ração da empresa Pif Paf Alimentos. No Quadro 1 A, apresentam-se a relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif Paf.

Quadro 1 A. Relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif Paf

Equipamento	EL 37	RD 58	RD 38	EL 20
Local de funcionamento	F. ração	F. ração	F. ração	F. ração
Fabricante	WEG	SEW Brasil	WEG	WEG
Pólos	4	4	4	4
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Fator de serviço (Fs)	1,15	1,25	1,15	1,15
Categoria (Cat.)	N	N	N	N
Potência (kW)	9,2	2,21	3,68	11,04
Potência (cv)	12,5	3,0	5,0	15,0
Classe de isolamento	B	F	B	B
Corrente nominal (A)	32 / 18,5	9,2 / 5,3	13,6 / 7,84	23 / 13
IP/IN (A)		6,0	7,5	8
Tensão nominal (V)	220 / 380	220 / 380	220 / 380	380 / 660
Fator de potência		0,81		
Rendimento nominal				
No. De Fases	3	3	3	3
Tipo de gaiola/outros	Indução	Indução	Indução	Indução
Rotação (rpm)	1.755	1.700	1.760	1.750
Regime de trabalho				
Código				
Ligação (Y ou Δ)	Estrela	Estrela	Estrela	Triângulo
Padrão ou alto rendimento	PD	PD	PD	PD
Horário de func. na ponta	13,5	13,5	13,5	13,5
Horário de func. fora de ponta (h)	0	0	0	0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	14,6 / 15,0 / 14,7	1,8 / 1,2 / 1,1	4,8 / 4,9 / 4,1	17,0 / 17,5 / 17,3
Corrente em cada fase e sob carga (A)	12,7 / 13,0 / 11,5	2,6 / 2,9 / 2,4	3,9 / 4,1 / 3,6	15,7 / 18,5 / 14,0
Idade do motor	2 anos	2 anos	2 anos	2 anos
Sistema de partida				
Condição de carga				
Motor já foi reparado ?				
Temp. da carcaça em operação				
Forma de acoplamento	direta	polia	polia/corrente	polia/corrente
Vibração no motor	muita	muita	muita	muita

Quadro 1 A. Relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif Paf (cont.)

Equipamento	P.M. 22	ALM 24.1	ALM 24.2	M.M. 26.1
Local de funcionamento	F. ração	F. ração	F. ração	F. ração
Fabricante	WEG	SEW Brasil	SEW Brasil	WEG
Pólos	6	4	4	4
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Fator de serviço (Fs)			1,25	1,00
Categoria (Cat.)				N
Potência (kW)	5,52	1,10	1,10	128,80
Potência (cv)	7,5	1,5	1,5	175,0
Classe de isolamento				F
Corrente nominal (A)	12,7	2,8	5 / 2,9	245 / 141
IP/IN (A)				8
Tensão nominal (V)	220 / 380	220 / 380	220 / 380	380 / 660
Fator de potência				
Rendimento nominal				
No. De Fases	3	3	3	3
Tipo de gaiola/outros				Indução
Rotação (rpm)			1.770	1.780
Regime de trabalho				
Código				IP 55
Ligação (Y ou Δ)	Estrela	Estrela	Estrela	Triângulo
Padrão ou alto rendimento	PD	PD	PD	PD
Horário de func. na ponta (h)		11,5	11,5	11,5
Horário de func. Fora de Ponta (h)	0	0	0	0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	/ /	1,8 / 1,6	1,62 / 1,8 / 1,8	252 / 247 / 250
Corrente em cada fase e sob carga (A)	/ /	/	/ /	240 / 250 / 250
Idade do motor	2 anos	2 anos	2 anos	2 anos
Sistema de partida				
Condição de carga				
Motor já foi reparado ?				
Temp. da carcaça em operação				
Forma de acoplamento	direta	direta	direta	direta
Vibração no motor	não	não	não	não

Quadro 1 A. Relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif Paf (cont.)

Equipamento	M.M. 26.2	MSH 30	B 134.1	RD 36
Local de funcionamento	F. ração	F. ração	F. ração	F. ração
Fabricante	WEG	WEG	WEG	WEG
Pólos	4	4	6	4
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Fator de serviço (Fs)	1,00		1,15	1,15
Categoria (Cat.)	N		N	
Potência (kW)	128,80	29,44	5,52	5,52
Potência (cv)	175,0	40	7,5	7,5
Classe de isolamento	F		B	B
Corrente nominal (A)	245 / 141	57,7	22 / 12,7	20 / 11,6
IP/IN (A)	8			7,5
Tensão nominal (V)	380 / 660	220 / 380	220 / 380	220 / 380
Fator de potência				
Rendimento nominal				
No. De Fases	3	3	3	3
Tipo de gaiola/outros	Indução		IP 55	Indução
Rotação (rpm)	1.780		1.160	1.750
Regime de trabalho				
Código	IP 55			
Ligação (Y ou Δ)	Triângulo	Estrela	Estrela	Estrela
Padrão ou alto rendimento	PD	PD	PD	PD
Horário de func. na ponta (h)	11,5	11,5	11,5	11,5
Horário de func. fora de ponta (h)	0	0	0	0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	240 / 241 / 245	51,96 / 60,6 / 60,6	//	7,1 / 7,5 / 6,5
Corrente em cada fase e sob carga (A)	240 / 230 / 220	//	//	//
Idade do motor	2 anos	2 anos	2 anos	2 anos
Sistema de partida				
Condição de carga				
Motor já foi reparado ?				
Temp. da carcaça em operação				
Forma de acoplamento	direta	direta		polia/corrente
Vibração no motor	não	pouca		não

Quadro 1 A. Relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif Paf (cont.)

Equipamento	EL 7	RD 8	RD 1	RD 4
Local de funcionamento	F. ração	F. ração	F. ração	F. ração
Fabricante	WEG	WEG	SEW Brasil	WEG
Pólos	4	4	4	4
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Fator de serviço (Fs)	1,15		1,20	
Categoria (Cat.)			N	
Potência (kW)	5,52	3,68	4	2,21
Potência (cv)	7,5	5,0	4 kW	3,0
Classe de isolamento	B	B	B	B
Corrente nominal (A)	20 / 11,6	13,6 / 7,85	14,9 / 8,60	4,9
IP/IN (A)	7,5			
Tensão nominal (V)	220 / 380	220 / 380	220 / 380	220 / 380
Fator de potência			0,85	
Rendimento nominal				
No. De Fases	3	3	3	3
Tipo de gaiola/outros	Indução	Indução	Indução	Indução
Rotação (rpm)	1.730	1.730	1.720	1.710
Regime de trabalho				
Código				
Ligação (Y ou Δ)	Estrela	Estrela	Estrela	Estrela
Padrão ou alto rendimento	PD	PD	PD	PD
Horário de func. na ponta (h)	11,5			11,5
Horário de func. fora de ponta (h)	0	0	0	0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	5,2 / 7,0 / 4,2	3,2 / 3,93 / 3,42	2,5 / 2,82 / 2,16	4,4 / 4,5 / 4,0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	5,4 / 5,5 / 4,7	3,6 / 2,8 / 2,6	3,6 / 3,8 / 3,1	4,3 / 4,5 / 3,6
Idade do motor	2 anos	2 anos	2 anos	2 anos
Sistema de partida				
Condição de carga				
Motor já foi reparado ?				
Temp. da carcaça em operação				
Forma de acoplamento	polia/corrente	polia/corrente	polia/corrente	polia/corrente
Vibração no motor	muita	pouca	pouca	e pouca

Quadro 1 A. Relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif Paf (cont.)

Equipamento	RD 13.1	RD 12.3	RD 13.2	RD 12.1
Local de funcionamento	F. ração	F. ração	F. ração	F. ração
Fabricante	SEW Brasil	SEW Brasil	SEW Brasil	SEW Brasil
Pólos	4	4	4	4
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Fator de serviço (Fs)	1,25	1,25	1,25	1,25
Categoria (Cat.)				
Potência (kW)	3,68	2,2	3,68	2,2
Potência (cv)	5	2,2 kW	5	2,2 kW
Classe de isolamento				
Corrente nominal (A)	7,8	4,9	7,8	4,9
IP/IN (A)				
Tensão nominal (V)	220 / 380	220 / 380	220 / 380	220 / 380
Fator de potência				
Rendimento nominal				
No. De Fases	3	3	3	3
Tipo de gaiola/outros	Indução	Indução	Indução	Indução
Rotação (rpm)	1.755		1.755	1.755
Regime de trabalho				
Código				
Ligação (Y ou Δ)	Estrela	Estrela	Estrela	Estrela
Padrão ou alto rendimento	PD	PD	PD	PD
Horário de func. na ponta (h)	5,65	2,86		5,65
Horário de func. fora de ponta (h)	0	0	0	0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	9,2	2,95	4,8 / 5,0	3,40
Corrente em cada fase e sob carga (A)	7,5 / 8,0	5,1	4,4	3,20
Idade do motor	2 anos	2 anos	2 anos	2 anos
Sistema de partida				
Condição de carga				
Motor já foi reparado ?				
Temp. da carcaça em operação				
Forma de acoplamento	direta	direta	direta	direta
Vibração no motor	não	não	não	não

Quadro 1 A. Relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif Paf (cont.)

Equipamento	RD 15.3	RD 12.2	RD 14.1	RD 15.1
Local de funcionamento	F. ração	F. ração	F. ração	F. ração
Fabricante	SEW Brasil	SEW Brasil	SEW Brasil	SEW Brasil
Pólos	4	4	4	4
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Fator de serviço (Fs)	1,25	1,25	1,25	
Categoria (Cat.)				
Potência (kW)	2,21	2,21	2,21	2,21
Potência (cv)	3	3	3	3
Classe de isolamento				
Corrente nominal (A)	4,9	4,9	4,9	4,9
IP/IN (A)				
Tensão nominal (V)	220 / 380	220 / 380	220 / 380	220 / 380
Fator de potência				
Rendimento nominal				
No. De Fases	3	3	3	3
Tipo de gaiola/outros	Indução	Indução	Indução	Indução
Rotação (rpm)	1.700		1.755	1.755
Regime de trabalho				
Código				
Ligação (Y ou Δ)	Estrela	Estrela	Estrela	Estrela
Padrão ou alto rendimento	PD	PD	PD	PD
Horário de func. na ponta (h)	0,54	2,86	0,68	5,65
Horário de func. fora de ponta (h)	0	0	0	0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	2,60	3,5	3,20	2,5
Corrente em cada fase e sob carga (A)		4,6	2,40	
Idade do motor	2 anos	2 anos	2 anos	2 anos
Sistema de partida				
Condição de carga				
Motor já foi reparado ?				
Temp. da carcaça em operação				
Forma de acoplamento	direta	direta	direta	direta
Vibração no motor	não	não	não	não

Quadro 1 A. Relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif Paf (cont.)

Equipamento	RD 15.2	RD 14.2	RD 18	RD 5
Local de funcionamento	F. ração	F. ração	F. ração	F. ração
Fabricante	SEW Brasil	SEW Brasil	WEG	WEG
Pólos	4	4	4	4
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Fator de serviço (Fs)			1,15	
Categoria (Cat.)			N	
Potência (kW)	2,21	2,21	2,94	2,21
Potência (cv)	3	3	4	3
Classe de isolamento			B	B
Corrente nominal (A)	4,9	4,9	12,1 / 7,01	4,9
IP/IN (A)			7,5	
Tensão nominal (V)	220 / 380	220 / 380	220 / 380	220 / 380
Fator de potência				
Rendimento nominal				
No. De Fases	3	3	3	3
Tipo de gaiola/outros	Indução	Indução	Indução	Indução
Rotação (rpm)	1.755	1.755	1.736	
Regime de trabalho				
Código				
Ligação (Y ou Δ)	Estrela	Estrela	Estrela	Estrela
Padrão ou alto rendimento	PD	PD	PD	PD
Horário de func. na ponta (h)	0,89	0,89	11,5	11,5
Horário de func. fora de ponta (h)	0	0	0	0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	2,5	3,10	6,1 / 6,1 / 5,81	3,1 / 3,2 / 3,0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	5,5		7,0 / 7,3 / 6,1	3,8 / 3,2 / 2,6
Idade do motor	2 anos	2 anos	2 anos	2 anos
Sistema de partida				
Condição de carga				
Motor já foi reparado ?				
Temp. da carcaça em operação				
Forma de acoplamento	direta	direta	polia/corrente	polia/corrente
Vibração no motor	não	não	pouca	pouca

Quadro 1 A. Relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif Paf (cont.)

Equipamento	EL 27 R	RD 31 R	RD 18 R	EL 33 R
Local de funcionamento	Silo soja	Silo soja	Silo soja	Moega de soja
Fabricante	WEG	WEG	WEG	WEG
Modelo				
Pólos	4	4	4	4
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Fator de serviço (Fs)				
Categoria (Cat.)				
Potência (kW)	14,72	3,68	5,52	2,21
Potência (cv)	20	5	7,5	3
Classe de isolamento		F		
Corrente nominal (A)	28,8	7,85	11,5	4,96
IP/IN (A)				
Tensão nominal (V)	380 / 660	220 / 380	220 / 380	220 / 380
Fator de Potência				
Rendimento nominal				
No. De Fases	3	3	3	3
Tipo de gaiola/outros	Indução	Indução	Indução	Indução
Rotação (rpm)				
Regime de trabalho				
Código				
Ligação (Y ou Δ)	Estrela	Estrela	Estrela	Estrela
Padrão ou alto rendimento	PD	PD	PD	PD
Horário de func. na ponta (h)				
Horário de func. fora de ponta (h)	0	0	0	0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	11,6 / 13,5 / 12,0	//	//	4,0 / 4,1 / 3,8
Corrente em cada fase e sob carga (A)	10 / 10 / 9	//	//	//
Idade do motor	2 anos	2 anos	2 anos	2 anos
Sistema de partida				
Condição de carga				
Motor já foi reparado ?				
Temp. da carcaça em operação				
Forma de acoplamento	polia/corrente	polia/corrente	polia/corrente	polia/corrente
Vibração no motor	pouca	pouca	pouca	pouca

Quadro 1 A. Relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif Paf (cont.)

Equipamento	RD 25 R2	EL 19 R	EL 7 R	RD 8 R
Local de funcionamento	Moega soja	Armaz. soja	Silo 10 R1	Silo 10 R2
Fabricante	WEG	WEG	WEG	WEG
Pólos	4	4	4	4
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Fator de serviço (Fs)				
Categoria (Cat.)				
Potência (kW)	4	14,72	11,04	7,36
Potência (cv)	4 kW	20	15	10
Classe de isolamento				
Corrente nominal (A)	7,85	28,8	21,9	15,6
IP/IN (A)				
Tensão nominal (V)	220 / 380	380 / 660	380 / 660	220 / 380
Fator de potência				
Rendimento nominal				
No. De Fases	3	3	3	3
Tipo de gaiola/outros	Indução			
Rotação (rpm)				
Regime de trabalho				
Código				
Ligação (Y ou Δ)	Estrela	Estrela	Triângulo	Estrela
Padrão ou alto rendimento	PD	PD	PD	PD
Horário de func. na ponta (h)		11,5		
Horário de func. fora de ponta (h)	0	0	0	0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	4,9 / 5,0 / 4,4	15,7/ 18,6 / 14,2	//	7,5 / 8,0 / 7,0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	4,9 / 5,0 / 4,4	15,9 / 17,4 / 15,9	//	//
Idade do motor	2 anos	2 anos	2 anos	2 anos
Sistema de partida				
Condição de carga				
Motor já foi reparado ?				
Temp. da carcaça em operação				
Forma de acoplamento	polia/corrente	polia/corrente	polia/corrente	polia/corrente
Vibração no motor	pouca	muita	muita	pouca

Quadro 1 A. Relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif Paf (cont.)

Equipamento	RD 13 R	RT 11 R1	RT 11 R2	RT 24 R1
Local de funcionamento	Armaz. soja	Armaz. soja	Armaz. soja	Armaz. soja
Fabricante	WEG	EBERLE	EBERLE	WEG
Pólos	4	4	4	4
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Fator de serviço (Fs)		1,15	1,15	1,15
Categoria (Cat.)				
Potência (kW)	5,52	7,36	7,36	7,36
Potência (cv)	7,5	10	10	10
Classe de isolamento				
Corrente nominal (A)	11,50	26 / 15	26 / 15	27 / 15,6
IP/IN (A)				
Tensão nominal (V)	220 / 380	220 / 380	220 / 380	220 / 380
Fator de potência		0,86	0,86	
Rendimento nominal		0,86	0,86	
No. De Fases	3	3	3	3
Tipo de gaiola/outros	Indução			
Rotação (rpm)		1.760	1.760	1.760
Regime de trabalho				
Código				
Ligação (Y ou Δ)	Estrela	Estrela	Estrela	Estrela
Padrão ou alto rendimento	PD	PD	PD	PD
Horário de func. na ponta (h)				
Horário de func. fora de ponta (h)	0	0	0	0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	/ /	8,4 / 8,3 / 8,1	7,5 / 8,3 / 6,5	6,5 / 7,0 / 6,2
Corrente em cada fase e sob carga (A)	/ /	/ /	/ /	6,5 / 7 / 6,5
Idade do motor	2 anos	2 anos	2 anos	2 anos
Sistema de partida				
Condição de carga				
Motor já foi reparado ?				
Temp. da carcaça em operação				
Forma de acoplamento	polia/corrente	direto	direto	direto
Vibração no motor	pouca	-	-	-

Quadro 1 A. Relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif Paf (cont.)

Equipamento	RT 24 R2	RT 22 R	RD 14 R	RD 15 R
Local de funcionamento	Armaz. soja	Armaz. soja	Armaz. soja	Silo 10 R2
Fabricante	WEG	WEG	WEG	WEG
Modelo	132 S	132 S		
Pólos	4	4	4	4
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Fator de serviço (Fs)	1,15			
Categoria (Cat.)				
Potência (kW)	7,36	7,36	5,52	5,52
Potência (cv)	10	10	7,5	7,5
Classe de isolamento				
Corrente nominal (A)	15,6	15,6	11,5	11,5
IP/IN (A)				
Tensão nominal (V)	220 / 380	220 / 380	220 / 380	220 / 380
Fator de potência				
Rendimento nominal				
No. De Fases	3	3	3	3
Tipo de gaiola/outros	Indução	Indução	Indução	Indução
Rotação (rpm)				
Regime de trabalho				
Código				
Ligação (Y ou Δ)	Estrela	Estrela	Triângulo	Estrela
Padrão ou alto rendimento	PD	PD	PD	PD
Horário de func. na ponta (h)				11,5
Horário de func. fora de ponta (h)	0	0	0	0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	/ /	8,0 / 8,1 / 7,1	6,0 / 5,5 / 5,3	6,0 / 6,2 / 5,8
Corrente em cada fase e sob carga (A)	/ /	/ /	5,5 / 5,8 / 4,6	5,5 / 6,1 / 5,4
Idade do motor	2 anos	2 anos	2 anos	2 anos
Sistema de partida				
Condição de carga				
Motor já foi reparado ?				
Temp. da carcaça em operação				
Forma de acoplamento	polia/corrente	polia/corrente	polia/corrente	polia/corrente
Vibração no motor	-	-	-	-

Quadro 1 A. Relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif Paf (cont.)

Equipamento	RD 26 R	EL 6 R	RT 4 R	RD 25 R1
Local de funcionamento	Perto EL 19 R	Recep. milho	Recep. milho	Moega de milho
Fabricante	WEG	WEG	WEG	WEG
Pólos	4	4	4	4
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Fator de serviço (Fs)				
Categoria (Cat.)				
Potência (kW)	3,68	11,04	5,52	3,68
Potência (cv)	5	15	7,5	5
Classe de isolamento				
Corrente nominal (A)	4	21,9	11,5	7,85
IP/IN (A)				
Tensão nominal (V)	220 / 380	380 / 660	220 / 380	220 / 380
Fator de potência				
Rendimento nominal				
No. De Fases	3	3	3	3
Tipo de gaiola/outros	Indução			
Rotação (rpm)				
Regime de trabalho				
Código				
Ligação (Y ou Δ)	Estrela	Estrela	Triângulo	Estrela
Padrão ou alto rendimento	PD	PD	PD	PD
Horário de func. na ponta (h)		11,5	11,5	11,5
Horário de func. fora de ponta (h)	0	0	0	0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	4,9 / 4,9 / 4,3	11,5 / 11,6 / 10,4	7,4 / 8,1 / 7,2	4,2 / 4,65 / 4,1
Corrente em cada fase e sob carga (A)	3,3 / 3,9 / 3,1	12,2 / 13,0 / 10,6	8,5 / 9,1 / 7,6	4,3 / 4,6 / 3,6
Idade do motor	2 anos	2 anos	2 anos	2 anos
Sistema de partida				
Condição de carga				
Motor já foi reparado ?				
Temp. da carcaça em operação				
Forma de acoplamento	polia/corrente	polia/corrente	polia/corrente	polia/corrente
Vibração no motor	pouca	muita	pouca	pouca

Quadro 1 A. Relação dos motores da fábrica de ração da empresa Pif Paf (cont.)

Equipamento	RT 29 R
Local de funcionamento	Alim silo de soja
Fabricante	WEG
Modelo	132 S
Pólos	4
Frequência (Hz)	60
Fator de serviço (Fs)	1,15
Categoria (Cat.)	
Potência (kW)	5,52
Potência (cv)	7,5
Classe de isolamento	
Corrente nominal (A)	
IP/IN (A)	
Tensão nominal (V)	220 / 380
Fator de potência	
Rendimento nominal	
No. De Fases	3
Tipo de gaiola/outros	Indução
Rotação (rpm)	
Regime de trabalho	
Código	
Ligação (Y ou Δ)	Estrela
Padrão ou alto rendimento	PD
Horário de func. na ponta (h)	
Horário de func. fora de ponta (h)	0
Corrente em cada fase e sob carga (A)	/ /
Corrente em cada fase e sob carga (A)	5,5 / 5,7 / 5,3
Idade do motor	2 anos
Sistema de partida	
Condição de carga	
Motor já foi reparado ?	
Temp. da carcaça em operação	
Forma de acoplamento	polia/corrente
Vibração no motor	-

**APÊNDICE B. ANÁLISE ECONÔMICA DA ADEQUAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ
DE MOTORES DA FÁBRICA DE RAÇÃO**

Quadro 3.16. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 38

Redler 38 - WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus Motor AR AD/h	
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	451,70	435,30	3,68 kW (5 cv)	0,74 kW (1 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	335,50	161,70	3.888 h/ano	7.776 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	787,20	597,00	IC = 40 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 190,20 (24,2 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 49,30 (6,3 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 6,52 (0,8 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VPL (R\$/kWh)	0,0849	0,0833	0,0876	0,0847	0,0665
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		167,80	133,60	402,30	1.512,70
TIR (%)		não converge		24 %	não converge
RBC		1,5	0,9	11,5	13,7
TRC (ano)		Imediato		Imediato	Imediato

Quadro 3.17. Análise econômica adequação de força motriz para o motor do elevador de caçambas 20

Elevador 20 – WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus Motor AR AD/h	
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	2.214,00	2.527,30	11,04 kW (15 cv)	5,52 kW (7,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	1.644,70	935,00	3.888 h/ano	7.776 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	3.858,70	3.452,30	IC = 73 %	IC = 83 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 406,40 (10,50 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 125,70 (3,3 0%)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 168,30 (4,40 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VPL (R\$/kWh)	0,0823	0,08218	0,0835	0,0832	0,0649
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
			3ª Opção	2ª Opção	3ª Opção
VPL (R\$)		(172,30)	634,10	653,50	3.008,20
TIR (%)		74	37	49	não converge
RBC		(4,3)	(1,7)	(2,5)	79,2
TRC (ano)		não retornável		2,5 anos	Imediato

Quadro 3.18. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do alimentador 24.2

Alimentador 24.2 - SEW					
Dados		Motor PD	Motor PD AD	Motor PD versus AD	Motor PD versus AD
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	114,30	106,50	1,10 kW (1,5 cv)	0,37 kW (0,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	84,90	79,10	3.888 h/ano	3.888 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	199,20	185,60	IC = 25 %	IC = 75 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 12,5 (6,8 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 16,8 (9,2 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 8,8 (4,8 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VPL (R\$/kWh)	0,0898	0,0894	0,0947	0,0925	0,0697
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		1ª Opção	2ª Opção	3ª Opção	
VPL (R\$)		119,00	69,20	32,30	(786,00)
TIR (%)		não converge	28 %	24 %	não converge
RBC		6,6	1,1	0,9	21,6
TRC (ano)		Imediato	4 anos	4 anos	não retornável

Quadro 3.19. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do moinho 26.2

Moinho 26.2 – WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR versus AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	33.067,50	37.623,00	128,80 kW (175 cv)	73,60 kW (100 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	24.565,20	13.974,70	3.888 h/ano	7.776 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	57.632,60	51.597,70	IC = 98 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 6.035,00 (10,5 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 1.207,90 (2,1 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		-	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VPL (R\$/kWh)	0,0821	0,0821	0,0830	0,0830	0,0644
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
			2ª Opção		1ª Opção
VPL (R\$)		-	4.223,60	(4.299,20)	46.609,40
TIR (%)		-	26 %	-	não converge
RBC		1,0	(1,0)	1,0	21,0
TRC (ano)		-	4 anos	não retornável	Imediato

Quadro 3.20. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 36

Redler 36 – WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	632,54	658,20	5,52 kW (7,5 cv)	1,10 kW (1,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	469,90	244,50	3.888 h/ano	7.776 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	1.102,40	902,70	IC = 40 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 199,70 (18,1 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 4,20 (0,4 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		-	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,0851	0,0826	0,0868	0,0839	0,0657
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
VPL (R\$)		(347,30)	(73,90)	2ª Opção	1ª Opção
TIR (%)		36	-4	não converte	não converte
RBC		(1,6)	0,5	1,3	7,7
TRC (ano)		não retornável	não retornável	Imediato	Imediato

Quadro 3.21. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do elevador de caçambas 7

Elevador 7 - WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	186,70	218,00	5,52 kW (7,5 cv)	1,10 kW (1,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	468,10	273,30	1.152 h/ano	2.304 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	654,80	491,40	IC = 40 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 163,50 (25,0 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 2,50 (0,4 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		-	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1777	0,1727	0,1834	0,1699	0,1092
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
VPL (R\$)		(265,50)	(130,00)	2ª Opção	1ª Opção
TIR (%)		47	-19	não converge	não converge
RBC		(2,4)	0,8	1,2	5,3
TRC (ano)		não retornável	não retornável	Imediato	Imediato

Quadro 3.22. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 8

Redler 8 - WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	148,70	146,00	3,68 kW (5 cv)	0,37 kW (0,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	186,50	91,50	2.304 h/ano	4.608 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	335,20	237,60	IC = 20 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 97,60 (29,1 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 44,60 (13,3 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 27,20 (8,1 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1177	0,1110	0,1252	0,1141	0,0823
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		376,60	(110,30)	447,90	881,90
TIR (%)		não converge	-12	não converge	não converge
RBC		2,29	0,71	4,04	5,56
TRC (ano)		Imediato	não retornável	Imediato	Imediato

Quadro 3.23. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 12.3

Rosca Dosadora 12.3 – SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	173,40	168,50	2,21 kW (3 cv)	1,10 kW (1,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	518,40	251,80	966 h/ano	1.932 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	691,80	420,30	IC = 103 %	IC = 103 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 271,50 (39,2 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 33,00 (4,8 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 33,00 (4,8 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1927	0,1927	0,1974	0,1974	0,1245
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
			3ª Opção	2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		-	132,40	132,40	1.998,00
TIR (%)		-	30	30	não converge
RBC		-	1,3	1,3	577,5
TRC (ano)		não retornável	3 anos	3 anos	Imediato

Quadro 3.24. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 13.2

Rosca Dosadora 13.2 – SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	100,00	102,50	3,68 kW (5 cv)	1,10 kW (1,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	371,30	190,30	778 h/ano	1.555 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	471,20	292,80	IC = 45 %	IC = 75 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$178,40 (37,9 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$29,00 (6,2 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$20,40 (4,3 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,2378	0,2324	0,2498	0,2410	0,1472
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
			3ª Opção	2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		43,20	15,80	189,50	1.395,90
TIR (%)		-6	6	126	não converge
RBC		0,5	0,1	(8,0)	16,5
TRC (ano)		não retornável	7 anos e 7 meses	1 ano	Imediato

Quadro 3.25. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 12.1

Rosca Dosadora 12.1 – SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	176,70	174,40	2,21 kW (3 cv)	0,55 kW (0,75 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	267,30	131,90	1.909 h/ano	3.819 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	444,00	306,30	IC = 52 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 137,70 (31,0 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 36,20 (8,2 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 19,90 (4,5 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1244	0,1218	0,1290	0,1251	0,0890
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
			3ª Opção	2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		- 4,00	35,30	271,80	1.037,60
TIR (%)		9	15	não converge	não converge
RBC		0,1	0,3	78,6	35,2
TRC (ano)		não retornável	5 anos	Imediato	Imediato

Quadro 3.26. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 15.3

Rosca Dosadora 15.3 – SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	7,90	9,10	2,21 kW (3 cv)	0,37 kW (0,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	124,00	71,60	184 h/ano	368 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	131,70	80,70	IC = 20 %	IC = 60 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 51,20 (38,8 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 8,30 (6,3 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 8,30 (6,3 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,9621	0,9002	1,0736	0,9484	0,5247
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		2ª Opção		3ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		149,90	(37,80)	92,70	451,30
TIR (%)		não converge	-1	não converge	não converge
RBC		1,8	0,4	3,1	5,8
TRC (ano)		não retornável	7 anos e 2 meses	3 anos e 3 meses	Imediato

Quadro 3.27. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 12.2

Rosca Dosadora 12.2 – SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	304,80	298,60	2,21 kW (3 cv)	1,10 kW (1,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	461,10	225,90	1.909 h/ano	3.819 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	765,90	524,50	IC = 92 %	IC = 92 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 241,50 (31,5 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 56,10 (7,3 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 56,00 (7,3 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1209	0,1209	0,1237	0,1237	0,0863
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
			3ª Opção	2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		-	302,68	302,68	1.775,77
TIR (%)		-	55	55	não converge
RBC		-	2,88	2,88	513,23
TRC (ano)		não retornável	2 anos	2 anos	Imediato

Quadro 3.28. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 14.1

Rosca Dosadora 14.1 – SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	21,20	21,00	2,21 kW (3 cv)	0,37 kW (0,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	266,20	131,90	230 h/ano	460 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	287,40	152,90	IC = 52 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)	1ª Opção			R\$ 134,50 (46,8 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)	2ª Opção			R\$ 19,40 (6,7 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)	3ª Opção			R\$ 12,80 (4,5 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,6962	0,6914	0,7367	0,7340	0,4108
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
			2ª Opção	3ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		(155,20)	31,20	(17,10)	983,90
TIR (%)		-	14 %	4 %	não converge
RBC		-	0,3	0,2	284,4
TRC (ano)		não retornável	5 anos e 5 meses	8 anos	Imediato

Quadro 3.29. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 15.1

Rosca Dosadora 15.1 – SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	71,10	65,90	2,21 kW (3 cv)	0,18 kW (0,25 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	107,50	49,90	1.909 h/ano	3.819 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	178,50	115,80	IC = 16 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)	1ª Opção			R\$ 62,70 (35,2 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)	2ª Opção			R\$ 26,50 (14,8 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)	3ª Opção			R\$ 16,90 (9,5 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1372	0,1283	0,1480	0,1324	0,0918
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
			3ª Opção	2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		239,60	(69,30)	278,50	593,50
TIR (%)		não converge	-10 %	não converge	não converge
RBC		2,2	0,7	3,6	4,7
TRC (ano)		Imediato	não retornável	Imediato	Imediato

Quadro 3.30. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 15.2

Rosca Dosadora 15.2 - SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	53,40	51,70	2,21 kW (3 cv)	1,10 kW (1,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	561,00	271,40	275 h/ano	550 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	614,40	323,10	IC = 111 %	IC = 111 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 291,34 (47,42 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 43,15 (7,02 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 43,15 (7,02 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,5591	0,5591	0,5753	0,5753	0,3191
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR 3ª Opção	PD – AR AD 2ª Opção	PD – AR AD/h 1ª Opção
VPL (R\$)		-	207,28	207,28	2.144,94
TIR (%)		-	41	41	não converge
RBC		-	1,97	1,97	619,92
TRC (ano)		-	2 anos e 6 meses	2 anos e 6 meses	Imediato

Quadro 3.31. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca dosadora 14.2

Rosca Dosadora 14.2 - SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	23,10	22,50	2,21 kW (3 cv)	0,74 kW (1 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	242,60	118,30	275 h/ano	550 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	265,70	140,80	IC = 47 %	IC = 70,5 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 124,90 (47,0 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 17,10 (6,4 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 2,30 (0,9 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,5963	0,5879	0,6335	0,6150	0,3507
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR 3ª Opção	PD – AR AD 2ª Opção	PD – AR AD/h 1ª Opção
VPL (R\$)			49,50	76,70	942,90
TIR (%)		não converge	12	37	não converge
RBC		1,6	(0,2)	(1,7)	32,0
TRC (ano)		Imediato	6 anos	3 anos	Imediato

Quadro 3.32. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 18

Redler 18 - WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	914,10	892,50	4 cv	2 cv
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	679,10	331,50	3.888 h/ano	7.776 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	1.593,13	1.224,00	IC = 105 %	IC = 105 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 369,10 (23,2 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 30,70 (1,9 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 30,70 (1,9 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,0825	0,0825	0,0836	0,0836	0,0654
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR 3ª Opção	PD – AR AD 2ª Opção	PD – AR AD/h 1ª Opção
VPL (R\$)		-	76,25	76,25	2.732,92
TIR (%)		-	18 %	18 %	não converge
RBC		-	0,54	0,54	150,00
TRC (ano)		-	5 anos	5 anos	Imediato

Quadro 3.33. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 5

Redler 5 - WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	104,60	105,20	2,21 kW (3 cv)	0,55 kW (0,75 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	262,20	131,90	1.152 h/ano	2.304 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	366,70	237,10	IC = 51 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 129,60 (35,4 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 24,70 (6,7 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 16,40 (4,5 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1762	0,1716	0,1839	0,1770	0,1172
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR 3ª Opção	PD – AR AD 2ª Opção	PD – AR AD/h 1ª Opção
VPL (R\$)		(58,40)	9,60	186,60	977,60
TIR (%)		24 %	10 %	não converge	não converge
RBC		0,9	0,1	53,9	33,2
TRC (ano)		não retornável	6 anos e 6 meses	Imediato	Imediato

Quadro 3.34. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do elevador de caçambas 27 R

Elevador 27 R - WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	704,60	639,80	14,72 kW (20 cv)	2,21 kW (3 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	883,40	401,05	2.304 h/ano	4.608 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	1.588,10	1.040,90	IC = 26 %	IC = 86,7
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 547,30 (34,46 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 189,20 (11,91 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 118,10 (7,44 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1126	0,1082	0,1158	0,1099	0,0787
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		1.402,69	119,72	1.784,19	4.649,86
TIR (%)		não converge	16	não converge	não converge
RBC		2,83	0,41	4,96	7,98
TRC (ano)		Imediato	5 anos	Imediato	Imediato

Quadro 3.35. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 33 R

Redler 33 R - SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	301,10	298,60	2,21 kW (3 cv)	1,10 kW (1,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	377,50	187,20	2.304 h/ano	4.608 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	678,60	485,80	IC = 75 %	IC = 75 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 192,80 (28,41 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 52,30 (7,7 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 52,30 (7,7 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1090	0,1090	0,1119	0,1119	0,0803
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
			3ª Opção	2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		-	274,75	274,75	1.415,56
TIR (%)		-	51	51	não converge
RBC		-	(2,62)	(2,62)	409,12
TRC (ano)		-	2 anos	2 anos	Imediato

Quadro 3.36. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 25 R2

Redler 25 R2 – SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	315,90	288,80	6 cv	1,5 cv
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	396,00	181,00	2.304 h/ano	4.608 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	711,90	469,80	IC = 40 %	IC = 72,53
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 242,10 (34,0 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 106,20 (14,9 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 61,10 (8,6 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1128	0,1092	0,1160	0,1122	0,0805
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		657,90	23,30	879,70	1.986,20
TIR (%)		não converge	12 %	não converge	não converge
RBC		3,4	(0,2)	10,1	10,1
TRC (ano)		Imediato	6 anos	Imediato	Imediato

Quadro 3.37. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 4

Redler 4 – WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	566,70	559,70	2,21 kW (3 cv)	1,10 kW (1,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	421,00	207,90	3.888 h/ano	7.776 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	987,70	767,60	IC = 84 %	IC = 84 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 220,10 (22,3 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 72,30 (7,3 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 72,30 (7,3 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,0831	0,0831	0,0846	0,0846	0,0661
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
			3ª Opção	2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		-	422,80	422,80	1.617,60
TIR (%)		-	71	71	não converge
RBC		-	4,0	4,0	467,5
TRC (ano)		-	2 anos	2 anos	Imediato

Quadro 3.38. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do elevador de caçambas 19 R

Elevador 19 R - WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	856,31	833,47	14,72 kW (20 cv)	2,94 kW (4 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	1.073,48	522,42	2.304 h/ano	4.608 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	1.929,79	1355,89	IC = 34 %	IC = 85 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 573,90 (29,74 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 127,30 (3,70 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 100,42 (5,20 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1111	0,1076	0,1134	0,1090	0,0787
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		1.244,72	(200,08)	1.276,30	4.732,43
TIR (%)		não converge	-11	não converge	não converge
RBC		2,65	0,69	4,08	9,83
TRC (ano)		Imediato	não retornável	Imediato	Imediato

Quadro 3.39. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 8 R

Redler 8 R - WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	32,49	23,84	7,36 kW (10 cv)	0,37 kW (0,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	250,43	91,95	374 h/ano	749 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	282,90	115,79	IC = 10 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 167,11 (59,07 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 100,26 (35,44 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 89,35 (31,58 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,5109	0,4452	0,5705	0,4647	0,2827
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		1.075,10	(87,05)	1.098,68	1.580,18
TIR (%)		não converge	-1	não converge	não converge
RBC		2,77	0,38	3,29	4,73
TRC (ano)		Imediato	não retornável	Imediato	Imediato

Quadro 3.40. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca transportadora 11 R1

Rosca Transportadora 11 R1 - EBERLE					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	185,55	183,71	7,36 kW (10 cv)	3,68 kW (5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	1.431,39	708,61	374 h/ano	749 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	1.616,94	892,32	IC = 94 %	IC = 94 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 724,62 (44,81 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 68,35 (4,23 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 68,35 (4,23 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,4210	0,4210	0,4304	0,4304	0,2419
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR 3ª Opção	PD – AR AD 2ª Opção	PD – AR AD/h 1ª Opção
VPL (R\$)		-	261,78	261,78	5.403,71
TIR (%)		-	29 %	29 %	não converge
RBC		-	1,14	1,14	80,33
TRC (ano)		-	3 anos e 4 meses	3 anos e 4 meses	Imediato

Quadro 3.41. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca transportadora 11 R2

Rosca Transportadora 11 R2 - EBERLE					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	173,70	173,70	7,36 kW (10 cv)	3,68 kW (5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	1.340,03	670,01	374 h/ano	749 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	1.513,73	843,72	IC = 88 %	IC = 88 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 670,01 (44,26 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 74,45 (4,92 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 74,45 (4,92 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,4223	0,4223	0,4326	0,4326	0,2430
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR 3ª Opção	PD – AR AD 2ª Opção	PD – AR AD/h 1ª Opção
VPL (R\$)		-	306,88	306,88	4.999,56
TIR (%)		-	32	32	não converge
RBC		-	(1,34)	(1,34)	74,32
TRC (ano)		-	3 anos	3 anos	Imediato

Quadro 3.42. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca transportadora 24 R1

Rosca Transportadora 24 R1 - WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	29,04	21,65	7,36 kW 10 cv	0,37 kW 0,5 cv
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	224,07	83,50	374 h/ano	749 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	253,11	105,15	IC = 8 %	IC = 80 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 147,96 (58,46 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 104,00 (41,09 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 94,90 (37,49 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,5238	0,4548	0,5968	0,4789	0,2730
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		1.116,17	(45,80)	1.126,36	1.492,71
TIR (%)		não converge	3 %	não converge	não converge
RBC		2,88	0,20	3,37	3,91
TRC (ano)		Imediato	não retornável	Imediato	Imediato

Quadro 3.43. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca transportadora 24 R2

Rosca Transportadora 24 R2 - WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD versus AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	41,99	34,22	7,36 kW (10 cv)	0,74 kW (1 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	323,91	132,00	374 h/ano	749 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	365,90	166,22	IC = 16 %	IC = 80 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 199,68 (54,57 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 77,17 (21,09 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 61,42 (16,79 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,4862	0,4394	0,5291	0,4569	0,2649
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
TIR (%)		não converge	-3 %	não converge	não converge
VPL (R\$)		812,47	(101,78)	846,78	1.821,21
RBC		2,42	0,44	3,28	5,45
TRC (ano)		Imediato	não retornável	Imediato	Imediato

Quadro 3.44. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca transportadora 22 R

Rosca Transportadora 22 R - WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	41,99	34,22	7,36 kW (10 cv)	0,74 kW (1 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	323,91	132,00	374 h/ano	749 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	365,90	166,20	IC = 16 %	IC = 80 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 199,68 (54,57 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 77,17 (21,09 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 61,42 (16,79 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,4862	0,4394	0,5291	0,4569	0,2649
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		812,47	(101,78)	846,78	1.821,21
TIR (%)		não converge	-3	não converge	não converge
RBC		2,42	0,44	3,28	5,45
TRC (ano)		Imediato	não retornável	Imediato	Imediato

Quadro 3.45. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 14 R

Redler 14 R - WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	20,95	23,84	5,52 kW (7,5 cv)	0,37 kW (0,5 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	161,61	91,95	374 h/ano	749 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	182,56	115,79	IC = 10 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 66,78 (36,58 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 33,59 (18,40 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 25,32 (13,87 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,5433	0,4551	0,5684	0,4789	0,2827
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		508,44	(367,14)	512,43	744,80
TIR (%)		não converge	não converge	não converge	não converge
RBC		1,69	2,34	2,07	3,01
TRC (ano)		Imediato	não retornável	Imediato	Imediato

Quadro 3.46. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 15 R

Redler 15 R - WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	218,06	209,89	5,52 kW (7,5 cv)	0,74 kW (1 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	273,36	131,56	2.304 h/ano	4.608 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	491,42	341,45	IC = 21 %	IC = 78,75 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 149,97 (30,52 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 39,11 (7,96 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 14,44 (2,94 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1175	0,1101	0,1205	0,1130	0,0817
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		371,97	(568,93)	472,32	1.360,52
TIR (%)		não converge	não converge	não converge	não converge
RBC		1,50	3,63	2,76	5,50
TRC (ano)		Imediato	não retornável	Imediato	Imediato

Quadro 3.47. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 26 R

Redler 26 R - WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	267,64	260,04	3,68 kW (5 cv)	0,74 kW (1 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	335,52	162,99	2.304 h/ano	4.608 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	603,16	423,03	IC = 40 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 180,13 (29,86 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 37,80 (6,27 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 5,00 (0,83 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1116	0,1089	0,1160	0,1112	0,0804
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR	PD – AR AD	PD – AR AD/h
		3ª Opção		2ª Opção	1ª Opção
VPL (R\$)		156,49	29,56	316,99	1.438,16
TIR (%)		não converge	12	não converge	não converge
RBC		1,40	(0,19)	9,09	12,98
TRC (ano)		Imediato	6 anos	Imediato	Imediato

Quadro 3.48. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do elevador de caçambas 6 R

Elevador 6 R – WEG					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	589,87	666,98	11,04 kW (15 cv)	2,21 kW (3 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	739,47	418,06	2.304 h/ano	4.608 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	1.329,34	1.085,04	IC = 30 %	IC = 90 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 244,30 (18,38 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 109,68 (8,25 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 57,28 (4,31 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1112	0,10762	0,1156	0,1097	0,0786
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR 3ª Opção	PD – AR AD 2ª Opção	PD – AR AD/h 1ª Opção
VPL (R\$)		777,41	(46,41)	998,66	2.114,02
TIR (%)		não converge	5 %	não converge	não converge
RBC		2,35	0,13	5,70	6,87
TRC (ano)		Imediato	8 anos	Imediato	Imediato

Quadro 3.49. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do rosca transportadora 4 R

Rosca Transportadora 4 R - SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	554,39	678,09	5,52 kW (7,5 cv)	2,21 kW (3 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	694,98	425,03	2.304 h/ano	4.608 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	1.249,37	1.103,13	IC = 61 %	IC = 91,5
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 146,25 (11,71 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 9,38 (0,75 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 18,63 (1,49 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VP (R\$/kWh)	0,1093	0,1075	0,1113	0,1096	0,0785
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR 3ª Opção	PD – AR AD 2ª Opção	PD – AR AD/h 1ª Opção
VPL (R\$)		(179,24)	(29,46)	48,46	1.180,43
TIR (%)		31	4	49	não converge
RBC		(1,31)	0,19	(2,46)	10,47
TRC (ano)		não retornável	8 anos	2 anos	Imediato

Quadro 3.50. Análise econômica da adequação de força motriz para o motor do transportador de corrente 25 R1

Redler 25 R1 - SEW					
Dados		Motor PD	Motor AR AD/h	Motor PD AD/h	Motor AR AD/h
Gasto com consumo de e.e.	R\$/ano	206,78	210,40	3,68 kW (5 cv)	0,55 kW (0,75 cv)
Gasto com demanda de e.e.	R\$/ano	259,22	131,88	2.304 h/ano	4.608 h/ano
Conta de energia	R\$/ano	466,00	342,29	IC = 30 %	IC = 100 %
Economia anual de energia elétrica (R\$)		1ª Opção		R\$ 123,72 (26,55 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		2ª Opção		R\$ 26,49 (5,68 %)	
Economia anual de energia elétrica (R\$)		3ª Opção		R\$ 15,51 (3,33 %)	
Análise econômica	PD	PD AD	AR	AR AD	AR AD/h
VPL (R\$/kWh)	0,1134	0,1089	0,1194	0,1116	0,0817
Análise econômica		PD – PD AD	PD – AR 3ª Opção	PD – AR AD 2ª Opção	PD – AR AD/h 1ª Opção
VPL (R\$)		(30,73)	(51,81)	286,49	1.020,61
TIR (%)		12 %	0 %	não converge	não converge
RBC		0,21	0,33	3,38	9,21
TRC (ano)		não retornável	9 anos e 11 meses	Imediato	Imediato