



**ADEQUAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ EM
SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO NO PERÍMETRO
DO GORUTUBA**

MURILO CÉSAR OSÓRIO CAMARGOS

2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

MURILO CÉSAR OSÓRIO CAMARGOS

**ADEQUAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ EM SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO NO PERÍMETRO DO GORUTUBA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Orientador
Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo

JANAÚBA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial da UNIMONTES**

C172a Camargos, Murilo César Osório.
Adequação de força motriz em sistemas de irrigação
no perímetro do Gorutuba [manuscrito] / Murilo César
Osório Camargos. – 2010.
78 p.

Dissertação (mestrado)-Programa de Pós-Graduação
em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade
Estadual de Montes Claros-Unimontes, 2010.
Orientador: Prof^o. D.Sc. Marcos Koiti Kondo.

1. Energia. 2. Irrigação. 3. Motores elétricos. 4.
Racionalização. I. Kondo, Marcos Koiti. II. Universidade
Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD 631.7

MURILO CÉSAR OSÓRIO CAMARGOS

**ADEQUAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ EM SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO NO PERÍMETRO DO GORUTUBA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 26 de maio de 2010.

Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo
UNIMONTES
(Orientador)

Prof. Dr. Flávio Gonçalves Oliveira
UFMG

Prof. Dr. Luiz Henrique de Souza
UFMG
(Coorientador)

Prof. Dr. Nilton Alves Maia
UNIMONTES

**JANAÚBA
MINAS GERAIS – BRASIL**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai, Lineu Henriques Camargos (*in memoriam*), à minha mãe, doutora Sebastiana da Conceição Osório, com seu apoio incondicional, irrestrito e constante, pela obstinação de, depois de aposentada do Banco do Nordeste, ainda ter cursado o bacharelado em Direito e se dedicar a advocacia em prol dos filhos, dos amigos e de pessoas carentes sem nunca esperar nada em troca.

A minha esposa, Cely, pelas ausências; meus filhos, Murilo e Ana Luiza, pela ajuda e paciência demonstradas, principalmente na escrita da dissertação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo conforto demonstrado nesses dois anos de realização do mestrado.

Agradeço ao meu orientador, professor Marcos Koiti Kondo, e ao professor Luiz Henrique de Souza, coorientador, pelas respostas sempre imediatas e objetivas.

Agradeço ao funcionário do distrito de irrigação do Gorutuba, Flávio Borborema Santos, pelo acompanhamento em campo, ajuda nas medições, e pela facilidade de acesso aos produtores rurais

Agradeço ao meu irmão Wiliam José Osório Camargos, funcionário da CEMIG, pelas orientações no manuseio do equipamento de medição e por alguns ensinamentos básicos de eletrotécnica.

Agradeço a todos os meus irmãos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço ao graduando de engenharia ambiental das faculdades Santo Agostinho, Pedro Hugo Dutra Matos, pela ajuda constante nas medições, bem como ao Prof. Oscar Martins Rennó, das Faculdades Santo Agostinho, pela tabulação e análise econômica dos valores medidos.

Agradeço ao professor Antônio Eugênio Silva, diretor das Faculdades Santo Agostinho, pelo estímulo e pelas liberações para as viagens a Janaúba.

Agradeço a Grazielli Santos de Almeida, secretária do programa de Pós-graduação em Produção Vegetal no Semiárido, da Unimontes, pela presteza constante nas solicitações feitas e, finalmente, agradeço aos companheiros do mestrado, sobretudo àqueles que compartilharam trabalhos, textos e viagens, como os colegas César Vinícius Mendes Nery e Otávio Diniz Lopes.

BIOGRAFIA

MURILO CÉSAR OSÓRIO CAMARGOS, filho de Lineu Henriques Camargos (*in memoriam*) e de Sebastiana da Conceição Osório, nasceu em Belo Horizonte, Minas Gerais, em 14 de agosto de 1965.

Em dezembro de 1990, graduou-se em Engenharia Agrícola pela Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), hoje Universidade Federal de Lavras. No ano seguinte, mudou-se para Guanambi, Bahia, indo trabalhar na empresa de irrigação HIDROSOLO, como projetista de sistemas de irrigação.

Em 1992, retorna a Montes Claros, Minas Gerais, cidade onde viveu desde quando nasceu, e abre escritório de projetos rurais e agroindustriais, credenciado junto ao Banco do Nordeste, onde projeta e executa trabalhos de irrigação, drenagem, agroindústria e pecuária.

Em 1998, em concurso público, entra para o quadro de professores da Unimontes, no departamento de ciências exatas e tecnológicas, onde leciona as disciplinas de cálculo integral e diferencial, cálculo numérico, estatística e matemática aplicada à economia para os cursos de Matemática, Economia, Administração de empresas e Ciências da computação.

Em Julho de 1999 abre, como sócio-projetista, a empresa PROIR IRRIGAÇÃO, onde projeta, vende e realiza montagem e assistência técnica em projetos de irrigação, destacando o projeto, fornecimento e execução do perímetro privado irrigado da ASPFIJE – Associação dos Produtores de Frutas do Jequitinhonha, Minas Gerais, com potência instalada de 750 cv. No período de 1999 a 2006, realiza projeto, fornecimento e execução de quase 60 empreendimentos de irrigação e drenagem.

Em agosto de 2006, passa a integrar o quadro de professores das Faculdades Santo Agostinho em Montes Claros, Minas Gerais, onde leciona estatística, fenômenos de transporte e hidráulica. No ano seguinte assume a coordenação acadêmica do curso de Engenharia Ambiental, atividade que desenvolve até os dias de hoje. Nesse mesmo ano inicia e conclui curso de especialização Lato Sensu em Gestão Ambiental pelas Faculdades Integradas de Jacarepaguá, Rio de Janeiro.

Em fevereiro de 2008 inicia o mestrado acadêmico na Universidade Estadual de Montes Claros, submetendo-se à defesa da dissertação, intitulada “Adequação de força motriz em sistemas de irrigação no perímetro do Gorutuba”, em maio de 2010.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 Caracterização do projeto	4
2.2 O motor elétrico	5
2.2.1 Conceitos básicos	6
2.2.2 Perdas e rendimento	6
2.3 Fator de potência	7
2.4 Fator de carregamento	10
2.5 Adequação da força motriz	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Medições elétricas	20
3.2 Adequação da força motriz	21
3.3 Análise econômica	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Análise técnica	31
4.2 Análise econômica	49
5 CONCLUSÕES	54
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXOS	60

LISTA DE TABELAS

TABELA		Pág.
TABELA 1.	Demanda de energia por fonte e por setor – Minas Gerais – 2007 em 1000 tEP	2
TABELA 2.1	Áreas avaliadas empresariais	34
TABELA 2.2	Áreas avaliadas de pequenos produtores	35
TABELA 3.1	Características elétricas e mecânicas dos motores elétricos avaliados – dados de placa – produtores empresariais	36
TABELA 3.2	Características elétricas e mecânicas dos motores elétricos avaliados – dados de placa – pequenos produtores	37
TABELA 4.1	Características elétricas e mecânicas medidas dos motores elétricos avaliados – produtores empresariais	39
TABELA 4.2	Características elétricas e mecânicas medidas dos motores elétricos avaliados – pequenos produtores	40
TABELA 5.1	Características elétricas calculadas dos motores avaliados – produtores empresariais	45
TABELA 5.2	Características elétricas calculadas dos motores avaliados – pequenos produtores	45
TABELA 6.	Dados técnicos de um motor-padrão em uso (MPu)	46
TABELA 7.	Dados técnicos de um motor de alto rendimento de mesma potência (MAr)	47
TABELA 8.	Dados técnicos de um motor de alto rendimento adequado à condição de carga (MArAd)	48
TABELA 9.	Análise econômica da substituição do motor-padrão em uso (MPu) por motor de alto rendimento (MAr)	52

TABELA 10. Análise econômica da substituição de motor-padrão em uso (MPu) por motor de alto rendimento adequado à condição de carga (MArAd) **53**

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Pág.
FIGURA 1.	Rendimentos mínimos de motores de acordo com a norma NBR-7094	10
FIGURA 2.	Arranjo Laboratorial para motor de 7,5 kW utilizado por Ferreira <i>et al.</i> (2001)	12
FIGURA 3.	Torque desenvolvido e corrente no rotor	14
FIGURA 4.	Curva característica de um motor de 10cv, 380V e 4 polos ...	18
FIGURA 5.	Wattímetro alicate instalado em uma das fases	21
FIGURA 6.	Motores com acoplamentos danificados.....	31
FIGURA 7.	Limites de variação de tensão e de frequência.....	42

RESUMO

CAMARGOS, Murilo César Osório. **Adequação de força motriz em sistemas de irrigação no perímetro do Gorutuba**. 2010. 78 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.¹

O presente trabalho foi realizado no município de Nova Porteirinha, Minas Gerais, mais precisamente no Distrito de Irrigação do Perímetro do Gorutuba, DIG, e cujo objetivo foi avaliar o carregamento de motores elétricos acoplados a bombas hidráulicas. As medições foram feitas em projetos de área empresariais e de pequenos produtores. Foi observado que nas medições feitas, principalmente de corrente elétrica, dos 10 motores avaliados, 8 apresentaram fatores de carregamento abaixo ou acima do ideal. Além da corrente de plena carga dos motores, foram medidas as potências ativas, aparentes, reativas, fator de potência e tensão de entrada com o uso de wattímetro alicate. De posse das medições e utilizando-se metodologia adequada, determinou-se o fator de carregamento, cujos valores obtidos foram: 51%, 65%, 66%, 74%, 102%, 103%, apresentando apenas dois motores com índices ideais de 91%, notadamente motores novos, em áreas empresariais. Foi feita a análise econômica de motores que apresentavam fator de carregamento inferior a 75%, utilizando-se como indicadores de rentabilidade econômica o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), o índice de lucratividade (IL) e o período de paybackTIR. A otimização do motor envolveu a comparação entre o motor-padrão em uso (MPu), a troca do motor atual por um motor de alto rendimento (MAr) e a troca por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga (MArAd). Observou-se que a melhor rentabilidade foi obtida pela substituição do motor atual por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga (MArAd) com valores médios dos três projetos avaliados apresentando VPL = R\$ 18.056,77, TIR de 99,10%, IL = 632,33% paybackTIR de 1 ano, 4 meses e 12 dias.

¹ **Comitê de Orientação:** Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo – DCA/UNIMONTES (orientador); Prof. Dr. Luiz Henrique de Souza – ICA/UFMG (coorientador)

ABSTRACT

CAMARGOS, Murilo César Osório. **Driving power adaptation in irrigations systems in the Gorutuba perimeter** . 2010. 78 p. Dissertation (Master' degree in Plant Production in the Semi-Arid) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.²

This work was carried out in Nova Porteirinha County, Minas Gerais State, Brazil, more precisely in the Gorutuba Irrigation District DIG, and aimed to evaluate the loading of electric engines coupled to hydraulic pumps. Measurements were made in the business area project and small farmers. It was observed that the measurements made mainly of electrical current from 10 engines evaluated, 8 had load factors whether below or above the ideal one. Besides the whole load current of the motors, were measured the active power, apparent, reactive, power factor and tension input with the use of wattmeter pliers. From the measurements and using the adequate methodology, its was determined the load factor, whose obtained values were: 51%, 65%, 66%, 74%, 102%, 103%, presenting only two engines with ideal index of 91%, notably new engines in a business areas. It was assessed economic analysis of engines that had loading factor less than 75%, using as indicators of economic profitability net present value (NPV), the internal rate of return (IRR), the profitability index (PI) and IRR payback period (PBP). The engine optimization involved comparison between the standard engine in use (SEu), the exchange of the current engine for a high yield engine (HYe) and the exchange for a high yield engine adequate to load condition (MArAd). It was observed that the best yield was obtained by replacing the current engine for a high performance engine adequate to load condition (MArAd) with medium values of the three projects evaluated presenting NPV = R\$ 18.056.77; PI = 632.33%; IRR of 99.10%, IRR payback 1 year, 4 months and 12 days.

Guidance committee: Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo – DCA/UNIMONTES (Advisor); Prof. Dr. Luiz Henrique de Souza – ICA/UFMG (Co-Advisor)

1 INTRODUÇÃO

A área irrigada no Brasil respondia, em 1998, por 16% da safra de alimentos e 35% do valor da produção. Nos anos de 2003/2004, essa área era de 3.440.470 ha, representando 5,89% da área total plantada, da qual as irrigadas por superfície se igualaram às irrigadas por métodos que contemplem, em sua maioria, a pressurização, isto é, aspersão convencional, pivô central e irrigação localizada (CHRISTOFIDIS, 2008).

A irrigação é um dos mais eficientes meios de aumentar a produção de alimentos, dada às características de produtividade, de menor ocupação territorial, e, em consequência, de menores impactos ambientais, sobretudo em matas nativas. Os métodos de irrigação por aspersão, localizada e pivô central, têm uma eficiência maior e consomem um volume muito menor de água. Dessa forma, a energia elétrica consumida nos projetos pressurizados tem aumentado com uso intenso desses métodos

O consumo de energia elétrica no Brasil, em 2003, foi 300.653 GWh, dos quais o estado de Minas Gerais foi responsável por 12,7% , destinando deste consumo aproximadamente 5,2% ao setor rural, isto é, 1.985,52 GWh (MATTOS, 2004).

Segundo o 23º BEEMG (Balanço energético do Estado de Minas Gerais) (CEMIG, 2008), o setor agropecuário consumiu, em 2006, 180 mil toneladas de equivalentes petróleo – mil tEP – equivalentes a 2.093 GWh de energia elétrica, conforme TABELA 1.

TABELA 1. Demanda de energia por fonte e por setor – Minas Gerais – 2007 em 1000 tEP

Setor	Lenha e derivados	Energia hidráulica	Petróleo, gás natural e derivados	Carvão mineral e derivados	Derivados de cana-de-açúcar	Outras fontes	Total
Industrial	7.221 76,5%	2.246 54,2%	3.463 32,1%	4.477 100%	2.639 75%	632 94,7%	20.908 62,5%
Residencial	2.053 21,8%	628 13,8%	823 7,6%	- -	- -	36 5,3%	3.540 10,6%
Transportes	- -	4 0,1%	5.938 55,1%	- -	877 24,9%	- -	6.818 20,9%
Agropecuário	38 0,4%	203 4,5%	514 4,8%	- -	- -	- -	755 2,3%
Comercial e Público	15 0,2%	630 13,8%	37 0,3%	- -	- -	- -	682 2,0%
Perdas	107 1,1%	620 13,6%	- -	- -	4 0,1%	- -	731 2,2%
Total	9.435	4.560	10.776	4.477	3.519	668	33.434
Percentual	28,2%	13,6%	32,2%	13,4%	10,5%	2,0%	100%

Fonte: CEMIG (2008), BEEMG (2008).

Considerando a matriz energética no setor agropecuário, com o aumento crescente do consumo de energia elétrica em detrimento das quedas nos consumos das outras fontes (lenha, óleo diesel, outros) e que os motores elétricos de indução representam 25% de toda a energia elétrica gerada no Brasil (ELETROBRÁS/PROCEL, 2007), o que em Minas Gerais equivale a 496.378 MWh, um aumento de 0,5% no rendimento dos motores elétricos representaria uma redução no consumo de 2.728 MWh, suficientes para abastecer uma população de 7.500.000 habitantes. Pode-se obter uma redução da demanda

energética pela substituição dos motores em uso há muitos anos, o que leva a uma perda de rendimento pelo desgaste natural das partes constituintes ou pela readequação da carga nesses motores.

Nesse contexto, procurou-se nesta pesquisa, no perímetro irrigado do projeto Gorutuba, como objetivo geral, avaliar o carregamento dos motores elétricos acoplados a bombas hidráulicas, e como objetivos específicos, a carga efetiva de trabalho destes motores, com vistas ao melhor aproveitamento destes, seja pela substituição, seja pela readequação de carga, e avaliar a viabilidade econômica dessas substituições, por vários indicadores.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização do projeto

O Distrito de Irrigação do Perímetro do Gorutuba, concebido e implantado em 1978 pelo DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra a Seca, foi repassado à CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba, que em 1979 já estava em condições de ser ocupado pelos irrigantes. No ano de 1993 foi criado o Distrito de Irrigação do Perímetro do Gorutuba – DIG, que assumiu as atividades de administração, operação, manutenção e conservação de toda a infraestrutura de uso comum do projeto, conforme Codevasf (2008).

Situada no município de Nova Porteirinha, Minas Gerais, a sede está localizada a 15°48'17"S e 43°17'58"W, altitude de 549 m. A sua fonte hídrica é o reservatório da barragem Bico da Pedra, com capacidade de armazenamento de 705 milhões de metros cúbicos.

Os sistemas de irrigação mais utilizados são microaspersão, aspersão convencional e irrigação por sulcos, sendo a energia elétrica fornecida pela CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais.

Os pequenos produtores utilizam, em sua maioria, motores elétricos com mais de 30 anos de uso e cujas potências variam de 7,5 cv (5,5 kW) a 10,0 cv (7,5 kW). Estes são valores estimados, devido a inexistência de valores exatos das potências instaladas havendo somente valores exatos das vazões, posto que é o fornecimento de água, a principal fonte de recursos financeiros do distrito.

As áreas de irrigação, atualmente, compreendem 2.456,82 ha de pequenos irrigantes, representados por 392 pequenos produtores, e 2.290,29 ha de lotes empresariais, representados por 44 empresários.

A assistência técnica fica a cargo da EMATER, MG – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais e as principais culturas são fruticultura, com predomínio da bananicultura (2.218 ha) e arroz, feijão, sementes e hortaliças.

2.1 O motor elétrico

O motor elétrico é uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica, isto é, energia cinética de rotação, pela ação da força eletromotriz induzida, quando um condutor retilíneo ou espira se desloca num campo magnético uniforme (WEG, 2002). Os motores, então ditos de indução de corrente contínua, possuem um dispositivo que converte a corrente alternada (varia com o tempo e muda de sentido) em corrente contínua e de custo elevado, se prestam para funcionamento que exigem cargas com velocidade variável.

Os motores de corrente alternada, sendo os mais utilizados em todo o mundo para acionamento de cargas, se dividem em síncronos, em que a velocidade é fixa e somente para grandes potências, e assíncronos, em que a velocidade varia com a carga mecânica aplicada. Estes são utilizados em quase a totalidade das máquinas.

Os motores de indução assíncronos são responsáveis pelo consumo de aproximadamente 25% da energia consumida no Brasil (PROCEL, 2007) e reside nesse fato a preocupação em otimizar seu uso, sendo frequente o sobredimensionamento dos mesmos, isto é, motores de indução trabalhando com cargas bem menores que as previstas.

Dos motores de indução assíncronos, destacam-se os motores monofásicos, em que uma tensão alternada é aplicada entre dois fios que se ligam à carga, absorvendo uma corrente e os motores trifásicos, onde há uma associação de três sistemas monofásicos em que as tensões em cada uma das

fases estão defasadas entre si em 120° . Suas ligações podem estar em triângulo, com um terminal em cada vértice do triângulo, ou em estrela com cada terminal representando uma fase, defasadas em 120° e o ponto comum das três fases pode representar o neutro, ou seja, sistema trifásico a quatro fios.

2.1.1 Conceitos básicos

- a. **Conjugado:** é o esforço que o motor necessita para girar o eixo. É o torque do motor;
- b. **Velocidade síncrona:** é a velocidade de rotação do campo girante, definida em projeto, e que depende do número de polos do motor e da frequência da rede. Desta forma, um motor que tem 2 polos e a frequência da rede de alimentação é de 60 hertz tem, como velocidade síncrona, 3.600 rotações por minuto;
- c. **Escorregamento:** Quando se aplica uma carga a um motor de indução, a velocidade síncrona tende a diminuir devido ao efeito da carga. A diferença entre a velocidade síncrona e a velocidade do motor funcionando à carga, chama-se velocidade de escorregamento ou, simplesmente, escorregamento que é uma fração da velocidade síncrona;
- d. **Velocidade nominal:** é a velocidade do motor quando funciona à potência nominal que é a potência de projeto, isto é, levando-se em conta a tensão nominal da rede e a corrente nominal do circuito. Depende da velocidade síncrona e do escorregamento.

2.2.2 Perdas e rendimento

Na conversão da energia elétrica em energia mecânica, os motores de indução sofrem perdas durante seu funcionamento. As perdas podem ser

definidas como perdas por efeito Joule no estator e no rotor; perdas no ferro; perdas por dispersão e perdas por atrito e ventilação. À medida que cresce a carga aplicada aos motores, as perdas aumentam.

Dessa forma, o rendimento dos motores está diretamente associado às perdas, de tal forma que, sendo a relação entre potência mecânica e potência elétrica definindo o rendimento, este pode ser obtido entre a potência elétrica consumida, descontadas as perdas, em relação a potência elétrica. Segundo Procel (2007), as perdas podem chegar, num motor de 11 kW (15 cv), a 2,5% da potência nominal.

Os motores usualmente fabricados no Brasil são denominados de motores-padrão cujo rendimento, para motores de 7,5 kW, não ultrapassam os 87%. Já os motores de alto rendimento são aqueles em que as perdas são sensivelmente diminuídas, seja pelo aumento da quantidade de cobre no estator, o superdimensionamento das barras do rotor para diminuir as perdas por efeito joule, o uso de rolamentos de alto desempenho e a ventilação adequada (PROCEL, 2007).

2.3 Fator de Potência

A potência total de uma instalação motriz é composta pela potência ativa, isto é, aquela que efetivamente realiza trabalho (circuito resistivo), e a potência reativa, aquela que não realiza trabalho, apenas mantém os campos eletromagnéticos das cargas indutivas (circuito indutivo). A potência total fornecida à carga, no caso, a bomba hidráulica, é denominada potência aparente e, quanto menor seu valor, maior será o fator de potência da instalação e isto depende da diminuição da potência reativa. Num sistema motriz que tenha, por exemplo, fator de potência igual a 0,70 e podendo-se elevá-lo a 0,92, a redução na potência fornecida será da ordem de 24% (CODI, 2004).

Como o motor elétrico absorve energia elétrica e a transforma em energia mecânica disponível no eixo, o rendimento expressa a eficiência com que essa transformação é feita. O rendimento de um motor elétrico é diretamente proporcional ao fator de potência, isto é, a relação entre a potência ativa (parte da potência aparente que realiza trabalho) e a potência aparente, ou seja, o produto da tensão pela corrente, caso o sistema fosse totalmente resistivo, como os filamentos de uma lâmpada incandescente que transforma toda a energia elétrica em luz. Desse modo, num circuito totalmente resistivo, o fator de potência é igual a 1. As equações 1 a 3 definem as potências aparente e ativa, conforme (WEG, 2002):

$$S_1 = U \times I \quad (1)$$

$$S_2 = \sqrt{3} \times U \times I \quad (2)$$

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi \quad (3)$$

em que:

S_1 = Potência aparente em sistema monofásico puramente resistivo, VA;

U = Tensão da rede, V;

I = Corrente que passa pelo circuito, A;

S_2 = Potência aparente em sistema trifásico puramente resistivo, VA;

P = Potência ativa do circuito, W;

S = Potência aparente do circuito, VA;

$\cos \varphi = \frac{P}{S}$, Fator de Potência, decimal.

Já a Potência reativa, conforme a equação 4, pode ser definida segundo (WEG, 2002):

$$Q = S \times \sin \varphi \quad (4)$$

Em que:

Q = Potência reativa do circuito, Var.

Esta é a parcela da potência num sistema motriz que não realiza trabalho, ou seja, ela é transferida e armazenada nos elementos passivos do circuito (capacitores e indutores). A potência reativa apenas mantém os campos magnéticos do estator.

Dessa maneira, quanto menor a potência reativa, maior o fator de potência e, por conseguinte, maior o rendimento do motor, que pode ser expresso conforme a equação 5:

$$\eta = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi} \times 100 \quad (5)$$

em que:

η = Rendimento do motor, %

P = Potência do motor, W.

Segundo Procel (2007), 90% dos motores vendidos no Brasil, nos últimos 20 anos, tinham potência entre 0 a 7,5 kW, que é a faixa em que se pode obter os maiores ganhos de rendimento nos motores-padrão bem dimensionados ou nos motores de alto rendimento, como se verifica na FIGURA 3, que para um motor de 7,5 kW (10,0 cv) o rendimento mínimo para um motor-padrão é de aproximadamente 85%, e alto rendimento, 90%.

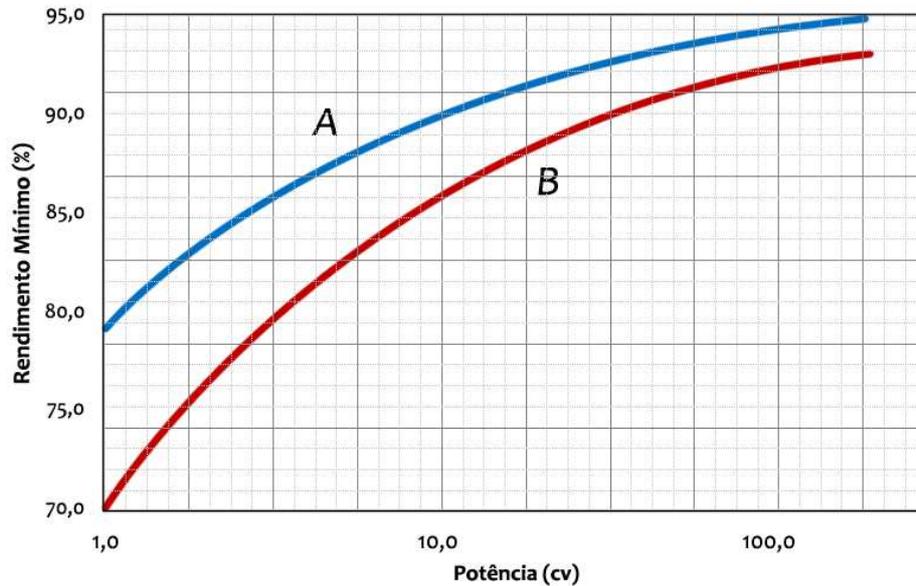


FIGURA 1. Rendimentos mínimos de motores de acordo com a norma NBR-7094
 A – Motores de alto rendimento; B – Motores-padrão.
 Fonte: PROCEL (2007).

2.4 Fator de Carregamento

A análise do desempenho do motor pode ser obtida por métodos normalizados, como as normas IEEE-112B (Institute of Electrical and Electronics Engineers), IEC-34.2 (International Electrotechnical Commission), NBR 5383-2 ou por medições a campo. O método IEC subestima as perdas, o que aumenta o rendimento, enquanto o método IEEE, assim como a NBR 5383-2 são mais precisos de acordo com COOPE/UFRJ (2005). Os métodos normalizados, embora muito mais precisos, são de difícil implementação a campo, posto que requerem equipamentos especiais e estrutura laboratorial para determinação dos principais parâmetros.

Andrade *et al.* (2009), comparando três métodos de cálculo de eficiência em motores de indução em operação, concluíram que dos métodos apresentados:

1) O método das Perdas Segregadas (padrão IEEE 112) em que o rendimento é obtido pela razão entre as perdas totais e a potência de entrada; calculam-se as perdas resistivas no estator; calculam-se as perdas mecânicas e magnéticas com o motor trabalhando a vazio (sem carga), separando as perdas com a redução da tensão aplicada ao motor, até próximo de zero, restando apenas as perdas mecânicas. As perdas suplementares são obtidas de uma tabela com valores padronizados proporcionais a potência do motor. É altamente preciso ($\pm 3\%$), porém muito invasivo e requer estruturas especiais, ou ainda, que o motor funcione fora do local de trabalho, por exemplo, em bancada de laboratório. Pode-se observar, por intermédio da FIGURA 4, a utilização de um regulador de tensões (AVR) para garantir desequilíbrio de tensões inferior a 0,2%. As medidas elétricas e mecânicas foram obtidas por um analisador de potência (marca Yokogawa WT1030M). A carga do motor, colocada por um freio dinamométrico, simulando carga constante. Foi utilizado um inversor de frequência (VEV) para duas frequências. O fator de potência e a potência ativa foram medidos diretamente pelo analisador de potência. O fator de carga foi obtido diretamente pela equação 6.

$$F_c = \frac{P_{med}}{PN} \quad (6)$$

em que:

F_c = Fator de carga, decimal

P_{med} = Potência medida pelo analisador de potência, kW

PN = Potência nominal do motor, kW

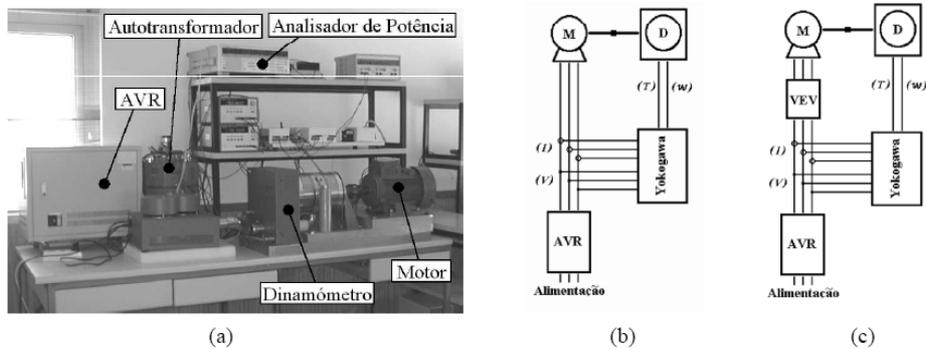


FIGURA 2. Arranjo Laboratorial para motor de 7,5 kW utilizado por Ferreira *et al.* (2001).

2) O método das Potências ou Padrão de escorregamento (potência nominal, de entrada e escorregamento) realiza as medições do torque (diretamente proporcional ao escorregamento), por torquímetros, e a potência de entrada. O escorregamento é definido como sendo a diferença entre a velocidade síncrona do motor (velocidade de rotação do campo girante, que depende do número de polos e da frequência da rede) e sua velocidade nominal. O rendimento pode ser obtido pela Equação 8.

$$\eta = \frac{P_1 \times s_2}{P_2 \times s_1} \quad (8)$$

em que:

P_1 = Potência nominal do motor, kW;

s_2 = escorregamento a plena carga, rpm;

P_2 = Potência de entrada, kW;

s_1 = escorregamento nominal, rpm.

A Equação 8 pode ser aperfeiçoada aplicando-se, no numerador e denominador, os efeitos das tensões de entrada e nominal, como se segue na equação 9, denominado Método Ontário Hidro do escorregamento compensado.

$$\eta = \frac{P_1 \times s_2 \times V^2}{P_2 \times s_1 \times V_1^2} \quad (9)$$

em que:

V = Tensão de entrada, V;

V_1 = Tensão nominal, V.

A FIGURA 3 ilustra a relação entre o torque e o escorregamento. Assim, após aplicar uma tensão nos terminais do estator do motor, sua velocidade começa a crescer, o escorregamento diminui e o torque chega a um valor máximo. O ponto “c” mostra a corrente do rotor à plena carga e o percentual do escorregamento na condição de torque nominal.

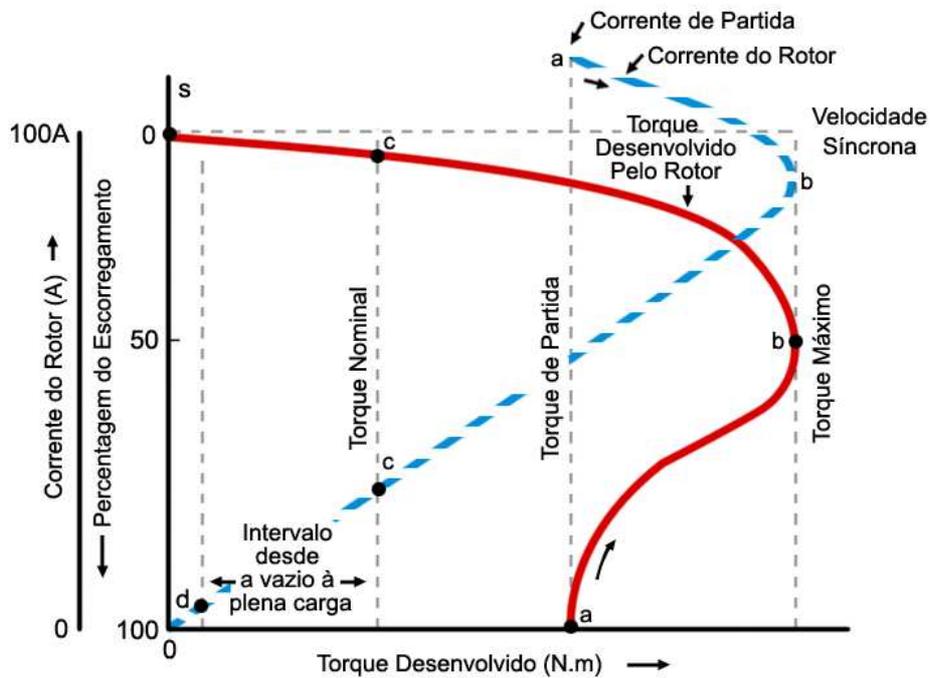


FIGURA 3. Torque desenvolvido e corrente no rotor
 Fonte: UNESP/FEG/DEE (2009).

3) O método da Corrente é o menos preciso, pois superestima a carga ao não considerar a corrente de magnetização. Entretanto, é o método menos invasivo e mais aplicado a campo, por ser mais simples. Pode estabelecer um bom indicador da condição de carga medida pela corrente à plena carga e comparada à corrente nominal ou de placa. O rendimento pode ser obtido pela equação 10.

$$\eta = \frac{I \times P_{nom}}{I_{nom} \times P_{el}} \quad (10)$$

em que:

η = Rendimento, decimal;

I = Corrente a plena carga, A;

I_{nom} = Corrente nominal, A;

P_{nom} = Potência nominal, kW;

P_{el} = Potência elétrica absorvida na rede, correspondente à potência ativa, kW.

O principal parâmetro de desempenho é o fator de carregamento (FC) ou índice de carregamento, que é a relação entre a potência consumida e a potência nominal. Em se tratando de motores acoplados às bombas centrífugas nos quais, após a partida, a carga é constante, o fator de carregamento é importante indicador da eficiência energética, quando os motores operam na faixa de 75% a 100% da potência nominal (CAMPANA *et al.*, 1999). Estes autores verificaram que o fator de carregamento pode ser obtido pela medição das correntes elétricas em cada fase (médias geométricas e aritméticas); pelas potências elétricas médias consumidas em cada uma das fases e pelos fatores de potência médios em cada uma das fases. Em todos os casos foram utilizadas curvas características típicas de motores de indução trifásico, como da FIGURA 4, onde um motor trifásico de 7,5 kW (10 cv), numa tensão de 380 V, 4 polos, 60 Hz de frequência, tem como corrente nominal (de placa), isto é, a 100% da carga, uma corrente de 15,2 A. O motor operando a 50% da carga, ou seja, com Fator de carregamento de 50%, opera com uma corrente de 10 A, um fator de potência de 0,7 e um rendimento de 0,84.

Para ELETROBRÁS/PROCEL (2007), o índice de carregamento, obtido por métodos não normalizados pode ser calculado pelas equações 11 e 12, pela obtenção das rotações ou das correntes, respectivamente.

$$Fc = \frac{n_t}{n_N} \times \frac{n_s - n_t}{n_s - n_N} \quad (11)$$

$$Fc = \frac{2 \times I_t - I_0}{2 \times I_N - I_0} \quad (12)$$

em que:

Fc = Fator de Carregamento, decimal;

n_t = Rotação à plena carga, rpm;

n_s = Rotação síncrona, rpm;

n_N = Rotação nominal, rpm;

I_t = Corrente à plena carga, A;

I_N = Corrente nominal ou de placa, A;

I_0 = Corrente em vazio, A.

Ambas as equações apresentam bons resultados para motores operando entre 50% e 100% da plena carga. Na equação 12, a corrente em vazio pode ser expressa com boa aproximação pela equação 13. No caso de bombas hidráulicas, a corrente sem carga, isto é, a vazio, pode ser medida com o motor ligado e o registro ou válvula de recalque, totalmente fechado.

$$I_0 = \left[\frac{56,93 + 14,53 \times \ln(p) - 7,23 \times \ln(P_N)}{100} \right] \times I_N \quad (13)$$

em que:

I_0 = Corrente em vazio em relação à nominal, A;

$Ln(p)$ = Logaritmo natural do número de pares de polos do motor,
número adimensional;

$Ln(P_N)$ = Logaritmo natural da potência nominal do motor, cv.

O rendimento pode ser obtido usando um wattímetro alicate, pela equação 14:

$$\eta = \frac{Fc \times 0735 \times P_N}{P_E} \times 100 \quad (14)$$

em que:

P_E = Potência elétrica requerida da rede, kW.

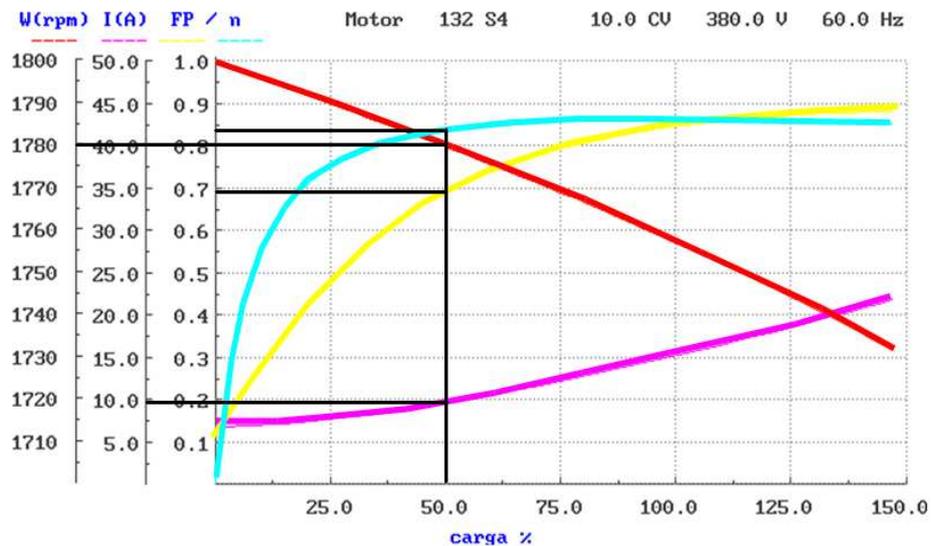


FIGURA 4. Curva característica de um motor de 10cv, 380V e 4 polos.
 Fonte: Calvalcante Neto (2000).

Segundo Teixeira (2002), 24,1% dos 50.000 motores industriais analisados operavam com índice de carregamento inferior a 60%.

Para Lopes *et al.* (2006), o custo de utilização de um motor deve ser medido pelos seus custos de operação e de investimento e, nesse sentido, quanto menor seu carregamento, menor será seu rendimento e seu fator de potência.

Porto *et al.* (1994) concluíram que a verificação do desempenho de um motor, acoplado a máquinas processadoras de arroz, pode ser feita com apenas a medição da corrente elétrica em seus terminais e com o uso das curvas características destes motores (FIGURA 4).

Para Galitsky *et al.* (2005), motores que trabalham com altos fatores de carregamento e grande período de operação apresentam grandes economias em relação ao consumo de energia elétrica, se comparados a motores submetidos a pequenos carregamentos.

Lima (2008) sugere o uso de um polinômio interpolador, utilizando-se os dados do fabricante para três pares de pontos como o percentual da potência nominal versus o rendimento. Desta forma, calcula-se a potência no eixo como sendo o produto da potência nominal pelo índice de carregamento.

2.5 Adequação da Força Motriz

Espínula Neto *et al.* (2005), avaliando o uso da energia elétrica em um sistema de irrigação localizado na cultura do mamoeiro no Norte do Espírito Santo, confirma que a substituição proposta do motor-padrão em uso por um motor de alto rendimento adequado às condições de carga pode ser uma alternativa viável para redução nos gastos com energia elétrica, e atrativa para o empresário agrícola no intuito de reduzir seus custos de produção.

Oliveira Filho *et al.* (2004), analisando motores elétricos de uma estação de pressurização de um perímetro irrigado, observaram ganhos atrativos em termos de valor presente líquido, taxa interna de retorno (TIR), relação benefício custo (RBC) e tempo de retorno do capital (TRC) para o motor-padrão (PD) comparado a um motor de alto rendimento adequado à condição de carga (AR AD).

Lopes *et al.* (2006) consideram que o processo de adequação da potência do motor envolve a análise técnica de seu funcionamento como índice de carregamento e rendimento, os custos de manutenção, de energia e de demanda de potência, dentro de certo horizonte de planejamento.

O tempo de uso do motor é também fator preponderante na análise de substituição. Para Galitsky *et al.* (2005), motores novos, além de mais eficientes, têm custo de operação global menores, recomendando a substituição para motores menores que 100 cv e com idade superior a 15 anos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Medições Elétricas

Foram visitados produtores rurais das áreas Ceará, Mosquito e Colonização III, envolvendo quatro pequenos produtores e seis áreas empresariais. O ponto geográfico para referência das áreas é o de coordenadas 15° 41' 31,2" S, 43° 15' 23,7" W e altitude de 521 m.

As medições foram feitas por um wattímetro alicate digital de marca Instrutherm WD 1000, que, segundo o fabricante, apresenta precisão de $\pm 4\%$ nas medições de corrente, $\pm 5\%$ na potência ativa e reativa de 5%, $\pm 2,5\%$ na potência aparente e frequência de $\pm 0,5\%$. As temperaturas e a umidade relativa do ar apresentadas pelo fabricante são, respectivamente, 0°C a 50°C e menor que 80%. (FIGURA 5).

Conforme o manual do fabricante do wattímetro deve-se envolver a garra do alicate em cada uma das fases e as pontas de prova em cada um dos terminais das fases obtendo-se as leituras de potência ativa, potência aparente, potência aparente e fator de potência do sistema. O equipamento ainda fornece a corrente média e tensão de entrada.

As leituras foram transportadas para uma tabela anotando-se também os dados de placa do motor. Na falta destes, pois alguns não apresentavam legíveis os valores de placa, utilizaram-se os valores constantes do catálogo do fabricante, em anexo.

A FIGURA 5 apresenta uma medição feita com o wattímetro alicate em uma das instalações.



FIGURA 5. Wattímetro alicate instalado em uma das fases.

3.2 Adequação da Força Motriz

A finalidade da adequação da força motriz é avaliar se a substituição do motor em uso traz benefícios econômicos para o produtor dentro de um horizonte de planejamento. Desta forma, o rendimento do motor em uso pode ser obtido pela equação 14.

Atualmente, no Brasil, não se fabrica mais o motor-padrão, apenas o de alto rendimento, devido à publicação da Portaria Interministerial 553, de 8 de dezembro de 2005 (ANEXO C), que estabelece um programa de metas a serem cumpridas pelas indústrias de motores elétricos em que, após 4 anos e 6 meses da publicação da referida portaria, todos os motores produzidos e/ou comercializados no Brasil terão que ter um rendimento mínimo estabelecido.

Estes valores de rendimento mínimo estão próximos aos rendimentos dos motores de alto rendimento já fabricados pelas indústrias. Neste trabalho, procurou-se avaliar duas situações:

a) Substituição do motor-padrão em uso (MPu) por um motor novo de mesma potência e de alto rendimento (MAr);

b) Substituição do motor-padrão em uso (MPu) por um motor novo adequado à condição de carga e de alto rendimento (MAdAr).

A potência do motor adequado à condição de carga pode ser obtida pela equação 18 (LOPES, 2006)

$$P_{ad} = P_n \times F_c \quad (18)$$

em que:

P_{ad} = Potência adequada ao motor, kW;

F_c = Fator de carregamento do motor em uso, decimal;

P_n = Potência nominal do motor em uso, kW.

A potência adequada será aquela imediatamente superior à nominal em valor que represente os motores comercialmente vendidos no Brasil. Dessa maneira, o Fator de carregamento do motor adequado à condição de carga pode ser obtido pela equação 19.

$$F_{cp} = \frac{P_{ad}}{P_{com}} \quad (19)$$

em que:

F_{cp} = Fator de carregamento do motor adequado à condição de carga, decimal;

P_{com} = Potência comercial do motor adequado à condição de carga, kW.

Para cada motor analisado, foi feita uma memória de cálculo em que, feita a leitura da potência e corrente nominal na placa do motor em uso, mensurou-se o índice de carregamento pela equação 12. Com o valor da potência elétrica medida, calculou-se o rendimento do mesmo com o uso da equação 14. A potência do motor proposto, isto é, projetado, foi estimada por meio da equação 18. Utilizou-se o motor de valor de potência comercial imediatamente superior à estimada. O fator de carregamento do motor proposto foi calculado pela equação 19.

Assim, em um dos motores em uso que apresentava potência de 5,5 kW (7,5 cv), corrente nominal de 19,2 A, potência elétrica de 4,8 kW e número de pares de pólos igual a 1, foram medidos os dados da corrente de carga (11,86 A) e calculados a corrente em vazio, o fator de carregamento e o rendimento das seguintes formas:

- Corrente em vazio:

$$I_0 = \left[\frac{56,93 + 14,53 \times \ln(1) - 7,23 \times \ln(7,5)}{100} \right] \times 19,2 = 8,13A;$$

- Fator de Carregamento:

$$Fc = \frac{2 \times 11,86 - 8,13}{2 \times 19,2 - 8,13} = 0,51;$$

- Rendimento do motor em uso:

$$\eta = \frac{0,51 \times 0,735 \times 7,5}{4,8} \times 100 = 58,57\% ;$$

- Potência do motor adequado (projetado):

$$Pad = 7,5 \times 0,51 \times 0,735 = 2,81 \text{ kW};$$

- Potência do motor comercial:

$$P_{com} = 3,00 \text{ kW};$$

- Fator de carregamento adequado à condição de carga:

$$F_{cp} = \frac{2,81}{3,00} = 0,94.$$

3.3 Análise Econômica

Os valores de índice de carregamento calculados como acima do ideal, considerando a faixa de 75% a 100% da potência nominal, não foram estudados na análise econômica, visto que o fator de serviço de tais motores é de 1,15, o que indica que eles podem operar continuamente em até 15% acima da potência nominal.

Para os índices de carregamento com valores obtidos menores que 75%, foram feitas as análises do retorno do investimento.

Nos cálculos de viabilidade econômica, foram consideradas como taxas de investimento aquelas praticadas pelos agentes financeiros para projetos de investimento, ou seja, 8,5% ao ano, mesmo que o índice de aumento da energia elétrica e a inflação tenham taxas menores, pelo fato que o produtor pode solicitar empréstimo bancário, caso a situação lhe seja favorável

O horizonte projetado foi de 10 anos e a taxa de manutenção adotada foi de 1% do valor do motor novo, posto que os fabricantes afirmam que tais motores têm custo de manutenção muito baixos.

O consumo anual atual de energia foi calculado com base nas informações prestadas pelos produtores, como horas diárias de funcionamento, número de dias da semana e meses do ano. Em todos os meses, se verifica consumo de energia para irrigação em períodos diários com tarifa normal, e período noturno com tarifa diferenciada. Para uniformizar o trabalho, foi

adotado o critério de se estabelecer o número de dias no ano em que o equipamento de irrigação é ligado.

No distrito de irrigação do Gorutuba, a água só é liberada nos canais de segunda a sexta feira, ou seja, em cinco dias na semana. Dessa maneira utilizaram-se para esse cálculo as 52,2 semanas que tem o ano, descontadas de oito semanas (o que equivale a 2 meses no ano, relativos ao período chuvoso) que ficam sem irrigar, isto é, foi considerado um período de 44,2 semanas no ano com cinco dias na semana, perfazendo um total de 221 dias no ano. É evidente que um levantamento mais preciso, principalmente no que diz respeito ao manejo adequado do sistema de irrigação, poderá detalhar o consumo real em termos de dia/ano e hora/dia.

A conta de energia dos produtores é outro indicativo real de consumo. Entretanto, com exceção de um produtor (conta anexa), os demais se negaram a mostrar a conta de energia. Neste sentido, procurou-se adotar a metodologia anteriormente descrita e considerou-se que todos os produtores utilizam-se do período noturno, que vai das 21 h até as 5 h da manhã seguinte, o que corresponde a 8 horas diárias de tarifa noturna, o que nem sempre corresponde com a realidade, conforme conta anexa.

Os gastos anuais totais com energia elétrica podem ser calculados pelas equações 20 e 21 como segue:

$$Gat = 221 \times \left[\left(\frac{Hn \times Tn + Hd \times Td}{\eta} \right) \times P_n \times F_c \right] \quad (20)$$

em que:

Gat = Gasto anual com motor em uso, R\$

Hn = Horas de uso no período noturno, h/dia;

Tn = Valor da tarifa no horário noturno (tarifa verde), R\$/h;

Hd = Horas de uso no período diurno, h/d;

Td = Valor da tarifa no período diurno (tarifa normal), R\$/h.

Atualmente, março de 2010, os valores das tarifas são, $Tn = R\$0,07174$ e $Td = R\$0,2657$.

O gasto anual com o motor projetado, seja pela simples substituição do motor atual por um de alto rendimento de mesma potência, seja por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga, pode ser obtido pela equação seguinte:

$$G_{proj} = 221 \times \left[\left(\frac{Hn \times Tn + Hd \times Td}{\eta} \right) \times P_{com} \times F_{cp} \right] \quad (21)$$

em que:

G_{proj} = Gasto anual com o motor projetado, R\$/ano

É importante ressaltar que o fator de carregamento do motor projetado assume dois valores de acordo com o que se propõe:

a) Substituição do motor em uso por outro de mesma potência de alto rendimento, $F_{cp} = F_c$;

b) Substituição do motor em uso por outro de alto rendimento adequado à condição de carga, $F_{cp} = \frac{Pad}{P_{com}}$.

O gasto com manutenção foi calculado pela fórmula proposta por Lopes *et al.* (2006), a seguir:

$$Gm_i = \left(\frac{2 \times VMn \times Cm}{100 \times N} \right) i \quad (22)$$

em que:

Gm_i = Gasto anual com manutenção no ano considerado, R\$/ano;

VMn = Valor comercial do motor novo, R\$;

Cm = Custo anual com manutenção do motor novo, %

N = Horizonte do projeto, anos;

i = Ano considerado, 0, 1, ...,10.

A receita com o investimento foi calculada pela diferença entre as equações 21 e 20, ano a ano, consideradas fixas sem reinvestimento, como se segue

$$RC_{inv} = Gproj - Gat \quad (23)$$

Para o ano zero, considerou-se, no fluxo de caixa, o custo de aquisição do motor novo com o investimento e a manutenção com valor zero.

O fluxo de caixa foi obtido pela equação 24 como se segue:

$$FC_i = \frac{C_i}{(1+r)^N} \quad (24)$$

$$C_i = RC_{inv} + Gm_i \quad (25)$$

em que:

r = Taxa de desconto, decimal;

C_i = Caixa anual, R\$.

A análise econômica foi feita após a determinação do fluxo de caixa de cada projeto, isto é, de cada motor analisado, considerando os seguintes parâmetros de atratividade:

a) Valor Presente Líquido (VPL): Indica, em valores monetários, o valor presente das entradas de caixa, isto é, as receitas obtidas com o investimento e as saídas, ou seja, o valor do próprio investimento e os custos decorrentes dele, como manutenção ao longo do período considerado e da taxa de investimento admitida. Para qualquer valor maior ou igual a zero, o investimento é considerado atraente. Assim, o VPL pode ser determinado pela equação 26.

$$VPL = \sum_{i=0}^N \frac{C_i}{(1+r)^N} \quad (26)$$

b) Taxa Interna de Retorno (TIR): Representa uma taxa de desconto que iguala, em um único momento, os fluxos positivos (ganhos) com os fluxos negativos (despesas e investimento). Quando o VPL se igual a zero, num fluxo de caixa, a TIR representa a taxa mínima em que o investimento é atrativo, ou seja, para toda TIR maior que a taxa de investimento ou desconto adotado, o investimento é atrativo. Desta forma, pode-se escrever a TIR como:

$$TIR \rightarrow VPL = \sum_{i=0}^N \frac{C_i}{(1+r)^N} = 0 \quad (27)$$

Então, resolve-se a equação 28 para r , por meio calculadoras financeiras, por planilhas eletrônicas ou por métodos computacionais.

$$C_1 + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \frac{C_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{C_N}{(1+r)^N} = 0 \quad (28)$$

c) Índice de Lucratividade (IL): Reflete o quanto o investimento é atrativo ou não. É a relação entre os valores positivos dos fluxos de caixa e os valores negativos do fluxo, considerados os valores presentes, isto é, no horizonte do projeto. Todo projeto que tiver IL maior que 1,00 é considerado atrativo. O índice de lucratividade pode ser calculado pela equação 29.

$$IL = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{C_i}{(1+r)^i}}{INV} \quad (29)$$

em que:

INV = Investimento ou custo do projeto, R\$.

É importante salientar que no somatório dos valores presentes, não se leva em consideração o ano zero, ou seja, o ano do investimento e que o valor do investimento, que no fluxo de caixa, entra como valor negativo, no IL é admitido o valor absoluto.

d) Período *Payback*: Representa o tempo, na unidade do fluxo de caixa, em que o investimento é recuperado por fluxos positivos. Ainda, pode ser definido como o tempo, na unidade do fluxo de caixa em que os valores negativos (investimentos) se anulam com os valores positivos (receitas do projeto).

Para Kassai *et al.* (2007), o *payback*, embora possa ser calculado de maneiras diferentes, “o *payback TIR* parte do princípio que a Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma taxa média de juros e que o prazo de recuperação do capital dar-se-á quando a empresa “dobrar” seu capital inicial”. Essa análise do *payback TIR* é mais refinada que o *payback* original, pois leva em consideração os valores monetários no tempo, a taxa aplicada ou descontada, ao contrário da *payback* original que recupera o capital sem levar em consideração a taxa.

O período *payback TIR* pode ser calculado pela equação 30.

$$paybackTIR = \frac{\ln 2}{\ln(1 + TIR)} \quad (30)$$

em que:

\ln = Logaritmo natural, número real;

TIR = Taxa interna de retorno, decimal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Técnica

Os motores elétricos instalados no projeto Gorutuba, nas áreas dos pequenos produtores rurais, em sua maioria tem idade superior a 15 anos, alguns chegam a 20 e 30 anos, conforme relato dos produtores visitados. As instalações nem sempre são adequadas, apresentam ferrugem nos terminais dos acionamentos (chaves estrela-triângulo, chave faca), acoplamentos com defeitos aparentes, os locais das instalações com umidade ou motores instalados no chão batido, como na FIGURA 6.



FIGURA 6. Motores com acoplamentos danificados e assentados ao chão

Segundo Phumiphak e Chat-uthai (2002) citados por Lima (2008), existem varias razões para se testar um motor de indução no campo, tais como a avaliação da substituição por um novo ou a necessidade da verificação de sua eficiência após a rebobinagem.

Como o perímetro de irrigação do Gorutuba possui um número grande de motores elétricos muito antigos (aproximadamente 30 anos), é provável que grande parte desses motores sejam operados em uma condição de carga inadequada, seja por desgaste de todos os componentes com o tempo, seja pela modificação de sistemas de irrigação e vazamentos, alterando o ponto de trabalho das bombas hidráulicas ou ainda por rebobinamento de motores de forma ineficiente, o que também diminui o rendimento dos mesmos.

Mesmo os pequenos produtores que não arcam com o custo da energia reativa, isto é, produtores com potência instalada inferior a 75 kVA e cujos motores operam com baixo fator de potência, têm seus rendimentos diminuídos pelas perdas ocasionadas pelo baixo fator de potência. Nessa ordem, rendimento baixo confere baixo carregamento uma vez que são diretamente proporcionais, conforme equação 14.

As TABELAS 2.1 e 2.2 apresentam os dados dos projetos visitados, mostrando as áreas ocupadas por empresários rurais e as áreas dos pequenos produtores rurais. Os sistemas de irrigação funcionam somente de segunda a sexta feira, sendo que nos finais de semana a água não é liberada, pelo distrito, nos canais. Considerou-se a irrigação em todos os meses do ano, embora no período chuvoso os agricultores não acionem os equipamentos. Foram obtidas as coordenadas geográficas de apenas duas áreas, uma de pequeno produtor e outra empresarial.

Nas TABELAS 3.1 e 3.2, foram anotados os valores de placa dos motores e, em alguns casos, tais valores foram obtidos em catálogos de fabricantes.

O item “Categoria” se refere ao tipo de carga que o motor aciona. A categoria definida como “Categoria N” são para motores que prestam ao acionamento de cargas normais como bombas, máquinas operatrizes, ventiladores. Nessa categoria, o conjugado ou torque, que é o esforço necessário

para girar o eixo do motor, é normal, a corrente de partida é normal e o escorregamento é baixo.

O item “Número de Polos” está representado pelo valor número de pares de pólos para efeito do cálculo da corrente em vazio como na fórmula 13.

O fator de serviço representa a capacidade de sobrecarga contínua que o motor pode suportar além da sua potência nominal. Assim, um motor de 10 kW que tenha um fator de serviço de 1,15, pode suportar continuamente até 11,5 kW.

O item “Carcaça” diz respeito às dimensões do motor elétrico.

O item “Grau de Proteção” diz respeito às condições ambientais em que o motor está sujeito quando em operação. Representado com as letras IP seguidas de dois algarismos, sendo que o primeiro algarismo indica a proteção contra penetração de corpos sólidos estranhos e contato acidental, e o segundo algarismo indica o grau de proteção contra a penetração de água no interior do motor (WEG, 2002). Portanto, um motor que tenha IP55 tem como especificação de proteção contra acúmulo de poeiras prejudiciais ao motor e contra jatos d’água em todas as direções.

As demais variáveis, como tensão, corrente, potência, rotação, rendimento, fator de potência e frequência são todas nominais, isto é, do projeto do motor.

As condições usuais de trabalho dos motores elétricos são definidas como sendo: a) altitude até 1.000 m, acima do nível do mar e b) meio refrigerante com temperatura não superior a 40 °C. No presente trabalho, o meio refrigerante é o próprio ar ambiente.

TABELA 2.1 Áreas avaliadas empresariais

		Produtores empresariais					
34	Área Irrigada (ha)	15,5	13,0	9,0	7,0	18,0	15,0
	Cultura Irrigada	Banana	Banana	Banana	Banana	Banana	Banana
	Sistema Irrigação ¹	Micro	Micro	Micro	Micro	Micro	Micro
	Tempo de uso do equipamento (anos)	15	8	10	10	0	6
	Funcionamento Dias/semana	Seg/Sex	Seg/Sex	Seg/Sex	Seg/Sex	Seg/Sex	Seg/Sex
	Meses/ano	12	12	12	12	12	12
	Horas/dia	20	20	15	15	20	20
	Potencia Instalada (kW)	30,0	9,2	9,2	7,5	18,5	18,5

1 – Sistema de irrigação por microaspersão.

TABELA 2.2 Áreas avaliadas de pequenos produtores.

Pequenos Produtores				
Área Irrigada (ha)	5,0	6,5	5,5	12,0
Cultura Irrigada	Ban/Goiaba	Banana	Banana	Frut/Mand..
Sistema Irrigação ¹	Micro	Micro	Micro	Micro
Tempo de uso do equipamento (anos)	3	20	15	20
Funcionamento Dias/semana	Seg/Sex	Seg/Sex	Seg/Sex	Seg/Sex
Meses/ano	12	12	12	12
Horas/dia	20	10	15	15
Potência Instalada (kW)	5,5	7,5	5,5	7,5

1 – Sistema de irrigação por microaspersão.

TABELA 3.1 Características elétricas e mecânicas dos motores elétricos avaliados – dados de placa – produtores empresariais.

Categoria do Produtor	Produtores empresariais					
Número de fases	3	3	3	3	3	3
Carcaça	200M	132M	132M	132S	160M	160M
Mês/ano fabricação (anos)	15	8	10	10	0	6
Categoria	N	N	N	N	N	N
Número de pares de Polos	1	1	1	1	1	1
Fator de Serviço	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Potência (kW)	30	9,2	9,2	7,5	18,5	18,5
Rotação (RPM)	3560	3510	3510	3510	3525	3525
Marca	WEG	WEG	WEG	WEG	WEG	WEG
Grau de Proteção (IP)	55	55	55	55	55	55
Tensão Nominal (V)	220	220	220	220	220	220
Corrente Nominal (A)	98,3	31	31	25,7	61	61
Rendimento (%)	91	87,5	87,5	87	90,5	90,5
Frequência (Hz)	60	60	60	60	60	60
Fator de Potência	0,88	0,89	0,89	0,88	0,88	0,88

TABELA 3.2 Características elétricas e mecânicas dos motores elétricos avaliados – dados de placa – pequenos produtores.

Categoria do Produtor	Pequenos produtores			
Número de fases	3	3	3	3
Carcaça	112M	132S	112M	132S
Mês/ano fabricação (anos)	3	20	15	20
Categoria	N	N	N	N
Número de pares de Polos	1	1	1	1
Fator de Serviço	1,15	1,15	1,15	1,15
Potência (kW)	5,5	7,5	5,5	7,5
Rotação (RPM)	3500	3510	3500	3510
Marca	WEG	WEG	WEG	WEG
Grau de Proteção (IP)	55	55	55	55
Tensão Nominal (V)	220	220	220	220
Corrente Nominal (A)	19,2	25,7	19,2	25,7
Rendimento (%)	86,5	87	86,5	87
Frequência (Hz)	60	60	60	60
Fator de Potência	0,87	0,88	0,87	0,88

Nas TABELAS 4.1 e 4.2, foram anotados os valores medidos dos motores avaliados. A tensão de entrada foi medida separadamente com amperímetro alicate, na posição V (tensão), usando apenas as pontas de prova em cada fase. Assim, a ponta de prova vermelha foi conectada à fase e a ponta de prova preta foi conectada à carcaça do motor. Os valores constantes da tabela refletem a média das três fases.

O tipo de acionamento indica como o motor entra em operação, isto é, o momento da partida do motor. Na partida direta, feita por disjuntores (equipamento não indicado para esse uso), chave faca ou contatores (PDW), a corrente se eleva muito, de até oito vezes a corrente nominal, podendo ocorrer grande queda de tensão na rede fazendo com que o sistema necessite de cabos superdimensionados para suportar a corrente no momento da partida. Além do mais, as concessionárias de energia elétrica limitam a queda de tensão na rede, não liberando a ligação, caso o acionamento não seja adequado. No acionamento com chave estrela-triângulo, a corrente de partida fica reduzida a aproximadamente um terço, sendo o mais recomendado também pelo baixo custo. A partida com dispositivo eletrônico, chave *soft-starter*, é feita como uma rampa de aceleração do motor, sendo sua rotação variando de zero até a de serviço. O tempo da aceleração é ajustado entre dois e trinta segundos e a corrente de partida se situa próximo à nominal, não havendo picos de tensão e corrente (WEG, 2002). Neste sentido, o tipo de acionamento pode ser substituído com a troca do motor, principalmente se os elementos do acionamento não suportarem a corrente de partida.

O tipo de acoplamento e o seu estado de conservação interferem no funcionamento do motor. Acoplamentos por luva elástica, quando danificados, podem desalinhar o eixo do motor, diminuindo seu rendimento.

TABELA 4.1 Características elétricas e mecânicas medidas dos motores elétricos avaliados – produtores empresariais.

Categoria Produtor	Produtores empresariais					
Tensão de Entrada (V)	211,00	216,30	210,20	224,00	214,70	210,60
Tipo de Acionamento	Est/Tri	Est/Tri	Est/Tri	Est/Tri	SoftStart	Est/Tri
Corrente Carga (A)	69,6	28,77	31,8	26,14	56,57	61,92
Corrente em Vazio (A)	29,74	11,99	11,99	10,35	20,53	20,53
Potência Ativa (kW)	29,35	12,42	12,42	6,89	23,13	14,24
Potência Reativa (kVAr)	1,07	0,7	0,58	0,49	0,95	0,74
Potência Aparente (kVA)	29,37	12,44	12,43	6,91	23,15	14,26
Frequência (Hz)	60	60	60	60	60	60
Tipo de acoplamento	Lv. El	Lv. El	Lv. El	Lv. El	Lv. El	Mono

Lv = acoplamento por luva elástica; Mono = acoplamento monobloco; Est/Tri = acionamento com chave estrela-triângulo; Disj. = acionamento com disjuntor; N/M = não medido.

TABELA 4.2 Características elétricas e mecânicas medidas dos motores elétricos avaliados – pequenos produtores.

Categoria Produtor	Pequenos produtores			
Tensão de Entrada (V)	196,20	215,30	210,60	219,60
Tipo de Acionamento	Disj.	Faca	PDW	Est/Tri
Corrente Carga (A)	11,86	26,31	15,2	18,6
Corrente em Vazio (A)	8,13	10,35	8,13	10,35
Potência Ativa (kW)	4,8	7,12	N/M	6,12
Potência Reativa (kVAr)	0,42	0,54	N/M	0,36
Potência Aparente (kVA)	4,82	7,14	N/M	6,17
Frequência (Hz)	60	60	N/M	60
Tipo de acoplamento	Lv. El	Lv. El	Lv. El	Lv. El

Lv = acoplamento por luva elástica; Mono = acoplamento monobloco; Est/Tri = acionamento com chave estrela-triângulo; Disj. = acionamento com disjuntor; N/M = não medido.

Os acoplamentos preferíveis são aqueles em que o motor vem montado no mesmo eixo da bomba, ditos monobloco.

Na TABELAS 5.1 e 5.2, que expressam valores calculados, a diferença percentual entre a tensão nominal do motor e a tensão medida foi determinada pela expressão:

$$\Delta V\% = \frac{V_n - V_e}{V_n} \times 100 \quad (15)$$

Em que:

V_n = Tensão nominal do motor, V;

V_e = Tensão de entrada da rede, V.

O cálculo se justifica pelo fato que existem variações máximas permitidas entre a tensão nominal e a tensão de entrada da rede elétrica, que define uma combinação das variações de tensão e frequência em zonas A e B, conforme FIGURA 7.

. Desta forma, um motor deve desempenhar sua função continuamente na zona A e dentro da zona B (WEG, 2002).

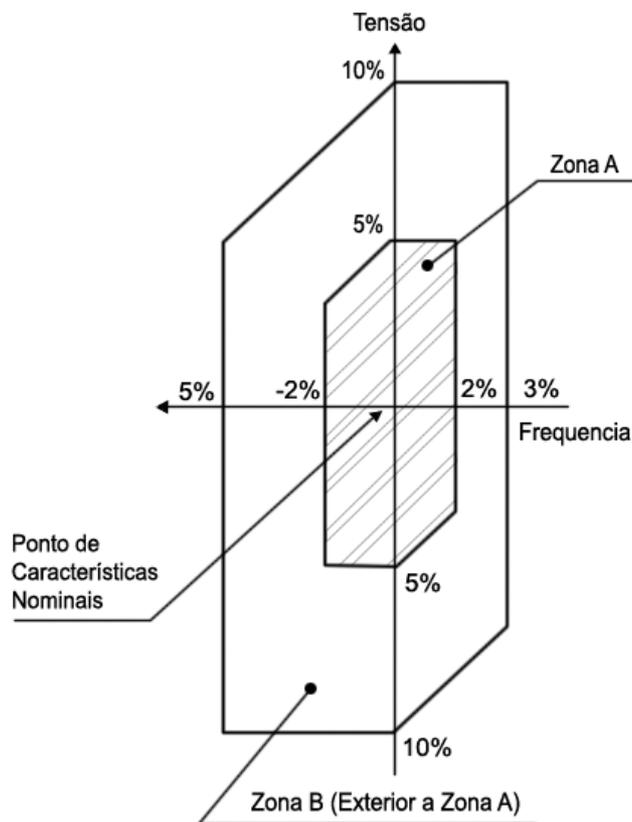


FIGURA 7. Limites das variações de tensão e de frequência em funcionamento.
 Fonte: WEG (2002)

A potência reativa pode ser obtida pela equação 16, da seguinte forma:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (16)$$

em que:

Q = Potência reativa, Var;

S = Potência aparente, VA;

P = Potência ativa, W.

Portanto, utilizou-se a potência reativa medida pelo wattímetro e calculada pela equação 16 e calculou-se a diferença percentual pela equação 17, para comparar os valores informados pelo fabricante de erros de leitura. No caso, para a potência reativa, o erro informado foi de 5% para mais ou para menos.

As diferenças percentuais entre as potências reativas medidas e calculadas foram obtidas pela equação 17, como se segue:

$$\Delta Q\% = \frac{Q_m - Q_c}{Q_m} \times 100 \quad (17)$$

em que:

Q_m = Potência reativa medida, VAr;

Q_c = Potência reativa calculada, VAr.

O índice de carregamento foi calculado pela equação 12, a corrente a vazio, estimada pela equação 13 e o rendimento dos motores, calculados pela equação 14.

Os resultados obtidos nas medições foram separados em tabelas que permitem identificar os projetos, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico.

As correntes medidas estão com valores abaixo das correntes nominais, indicando superdimensionamento. Nos motores, essas variações, de acordo com a TABELA 6, entre a corrente nominal e a medida chegam, do produtor 1 ao produtor empresarial, respectivamente a 61,34%, 26,32%, 38,17% e 41,42%.

A TABELA 6 apresenta os dados elétricos medidos e calculados dos motores-padrão em uso. As TABELAS 7 e 8 apresentam os dados elétricos dos motores de alto rendimento de mesma potência e dos motores de alto rendimento adequados à condição de carga. Na TABELA 7, é fácil verificar que o rendimento de um motor proposto de mesma potência e alto rendimento supera em até 30,3 pontos percentuais o rendimento do motor-padrão em uso.

Na TABELA 8, os fatores de carregamento para os motores de alto rendimento adequados à condição de carga situam-se próximos a 100% da potência nominal, confirmando o fato que os motores em uso estão superdimensionados para a situação atual, provavelmente pela queda acentuada no rendimento e as quedas nas potências nominais, em relação aos motores-padrão em uso, comparados aos motores de alto rendimento adequados à condição de carga são, do produtor 1 para o produtor empresarial, respectivamente de 45,45%, 18,18%, 26,67% e 26,67%.

As correntes nominais também têm valores diminuídos com a readequação, o que permite a substituição, do ponto de vista técnico, sem a necessidade de substituir os dispositivos de partida dos motores (chaves PDW, estrela-triângulo, etc.).

TABELA 5.1 Características elétricas calculadas dos motores avaliados – produtores empresariais.

Categoria Produtor	Produtores empresariais					
Diferença Percentual entre Tensão Nominal e Tensão medida	4,09%	1,68%	4,45%	1,82%	2,41%	4,27%
Fator de Carregamento	66%	91%	103%	102%	91%	102%
Limite do Fator	Abaixo	Ideal	Acima	Acima	Ideal	Acima

TABELA 5.2 Características elétricas calculadas dos motores avaliados – pequenos produtores.

Categoria Produtor	Pequenos produtores			
Diferença Percentual entre Tensão Nominal e Tensão medida	10,82%	2,14%	4,27%	0,18%
Fator de Carregamento	51%	103%	74%	65%
Limite do Fator	Abaixo	Acima	Abaixo	Abaixo

TABELA 6. Dados técnicos de um motor-padrão em uso (MPu).

46

Motor-padrão em uso (MPu)						
Categoria do Produtor	Pot.Inst. (cv/kW) ¹	Polos ²	Inom ³ (A)	I Med ⁴ (A)	Fc ⁵ (%)	n ⁶ (%)
Pequeno Produtor 1	7,5 (5,5)	2,0	19,2	11,9	51,0	58,8
Pequeno Produtor 2	7,5 (5,5)	2,0	19,2	15,2	74,0	86,5
Pequeno Produtor 3	10,0 (7,5)	2,0	25,7	18,6	65,0	79,0
Produtor Empresário	40,0 (30,0)	2,0	98,3	69,6	66,0	67,5

1- Potência Instalada (em uso); 2- Número de polos (rotação de 3.600 rpm); 3 – Corrente nominal (placa); 4 – Corrente medida; 5 – Fator de carregamento em uso; 6 – Rendimento do motor-padrão em uso;

TABELA 7. Dados técnicos de um motor de alto rendimento de mesma potência (MAr).

47

Motor de alto rendimento mesma potência (MAr)					
Categoria do Produtor	Pot. Nom. (cv/kW) ¹	Polos ²	Inom (A) ³	Fc (%) ⁴	n (%) ⁵
Pequeno Produtor 1	7,5 (5,5)	2,0	18,9	51,0	88,7
Pequeno Produtor 2	7,5 (5,5)	2,0	18,9	74,0	88,7
Pequeno Produtor 3	10,0 (7,5)	2,0	25,0	65,0	89,6
Produtor Empresário	40,0 (30,0)	2,0	98,3	66,0	93,1

1- Potência projetada; 2- Número de polos (rotação de 3.600 rpm); 3 – Corrente nominal ; 4 – Fator de carregamento; 5 – Rendimento do motor;

TABELA 8. Dados técnicos de um motor de alto rendimento adequado à condição de carga (MArAd).

Motor de alto rendimento adequado à condição de carga (MArAd)					
Categoria do Produtor	Pot. Nom. (cv/kW)	Polos	Inom (A)	Fc (%)	n (%)
Pequeno Produtor 1	4,0 (3,0)	2,0	10,8	94,0	88,7
Pequeno Produtor 2	6,0 (4,5)	2,0	15,1	90,0	88,7
Pequeno Produtor 3	7,5 (5,5)	2,0	18,9	89,0	88,7
Produtor Empresário	30,0 (22,0)	2,0	72,1	90,0	90,0

1- Potência projetada; 2- Número de polos (rotação de 3.600 rpm); 3 – Corrente nominal ; 4 – Fator de carregamento; 5 – Rendimento do motor;

4.2 Análise Econômica

Foi feita a análise econômica para os quatro motores dos quatro projetos avaliados, isto é, pequeno produtor 1, pequeno produtor 2, pequeno produtor 3 e produtor empresário, nas duas situações propostas, que são substituição do motor-padrão em uso por um motor de alto rendimento de mesma potência e substituição do motor-padrão em uso por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga, conforme as TABELAS 9 e 10.

A TABELA 9 mostra que apenas o produtor 2, com motor-padrão em uso de 5,5 kW, apresenta um VPL negativo e TIR não convergente, demonstrando ser inviável a substituição do motor atual, enquanto os demais demonstravam ser atraentes as substituições propostas.

O produtor 1 tem seu investimento recuperado em 5,99 anos com VPL de R\$ 205,41, com TIR de 12,27%, enquanto o produtor empresarial, pela simples substituição do motor em uso por um motor de alto rendimento de mesma potência tem o investimento recuperado no menor tempo, ou seja, 1 ano, 1 mês e seis dias.

A TABELA 10 demonstra que as substituições propostas, isto é, troca do motor em uso por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga é atraente para três dos quatro projetos.

O projeto do pequeno produtor 2, embora apresente $VPL = (R\$47,85)$, menor que zero e $TIR = 7,30\%$, menor que a taxa de investimento que é de 8,5%, com período de retorno de 9,8 anos próximo ao horizonte do projeto, não se apresenta atrativo para essa taxa.

Os demais projetos que apresentaram índices econômicos altamente satisfatórios, denotando que o que apresenta os menores índices (pequeno produtor 1), tem valores de $VPL = R\$ 2.075,87$, ou seja, 178,34% acima do investimento, com período de retorno de 2 anos e 25 dias e uma taxa que retorna

o investimento 31,16 pontos percentuais acima da taxa usada para o custo do projeto.

O projeto do produtor empresarial é o que apresenta os maiores índices econômicos, mesmo não tendo o menor fator de carregamento, pois o ganho com a substituição do motor em uso por um motor de alto rendimento adequado às condições de carga apresenta VPL = R\$ 47.532,75, isto é, 1,123,27% acima do investimento, com período de retorno de 7 meses e 20 dias e uma taxa que retorna o investimento em 164,6 pontos percentuais acima da taxa usada para o custo do projeto.

A média dos três motores que apresentam índices econômicos atrativos é de VPL = R\$18.056,77, TIR = 99,10%, IL = 632,33% e paybackTIR = 1 ano, 4 meses e 12 dias.

Comparando-se as substituições propostas, quais sejam a troca do motor-padrão em uso por um motor de alto rendimento de mesma potência (MPu x MAr) e a troca do motor-padrão em uso por um motor de alto rendimento adequado à condição de carga (MPu x MArAd), a segunda opção é a mais atrativa do ponto de vista econômico apresentando para o produtor 1, VPL com valor de 910,60% maior, TIR com 27,09 pontos percentuais maior e período de retorno do investimento 3 anos 11 meses e 1 dia menor.

O produtor 3 apresenta, na opção de (MPu x MArAd) em relação à opção (MPu x MAr), VPL com valor de 447,88% maior, TIR com 45,27 pontos percentuais maior e período de retorno do investimento de 2 anos 6 meses e 14 dias menor.

O produtor empresarial é o que apresenta os melhores valores monetários, mas comparando-se a duas opções, apresenta VPL com valor de 47,95% maior, TIR com 105,74 pontos percentuais maior e período de retorno do investimento de 5 meses e 16 dias menor. Os parâmetros econômicos apresentados nas tabelas 11 e 12 reforçam a tomada de decisão em 75% dos

projetos analisados neste estudo com a substituição dos motores-padrão em uso pelos motores de alto rendimento adequados à condição de carga.

TABELA 9. Análise econômica da substituição de motor-padrão em uso (MPu) por motor de mesma potência e de alto rendimento (MAr)

Categoria do Produtor	Pot. Inst. ¹ (cv/kW)	Pot. Proj. ² (cv/kW)	Receita total ³ (R\$)	Investimento (R\$)	VPL (R\$)	TIR (%)	IL (%)	Payback TIR (anos)
Pequeno produtor 1	7,5 (5,5)	7,5 (5,5)	1.685,69	(1.480,28)	205,41	12,27	114	5,99
Pequeno produtor 2	7,5 (5,5)	7,5 (5,5)	(1.168,69)	(1.480,28)	(2.117,80)	N/C	(43)	N/C
Pequeno produtor 3	10,0 (7,5)	10,0 (7,5)	2.757,03	(1.924,45)	832,61	19,28	143	3,93
Produtor empresarial	40,0(30,0)	40,0 (30,0)	39.449,61	(7.322,31)	32.127,30	87,36	539	1,10

1 – Potência do motor-padrão atual; 2 – Potência do motor de alto rendimento proposto; 3 – Receita total no horizonte do projeto.

TABELA 10. Análise econômica da substituição de motor-padrão em uso (MPu) por motor de alto rendimento adequado à condição de carga (MArAd)

Categoria do Produtor	Pot. Inst. ¹ (cv/kW)	Pot. Proj. ² (cv/kW)	Receita total (R\$)	Investimento (R\$)	VPL (R\$)	TIR (%)	IL (%)	PaybackTIR (anos)
Pequeno produtor 1	7,5 (5,5)	4,0 (3,0)	3.239,87	(1.164,00)	2.075,87	39,66	278	2,07
Pequeno produtor 2	7,5 (5,5)	6,0 (4,5)	1.119,15	(1.167,00)	(47,85)	7,30	96	9,83
Pequeno produtor 3	10,0 (7,5)	7,5 (5,5)	6.104,98	(1.543,28)	4.561,70	64,55	396	1,39
Produtor empresarial	40,0(30,0)	30,0 (20,0)	51.764,40	(4.231,65)	47.532,75	193,1	1223	0,64

1 – Potência do motor-padrão atual; 2 – Potência do motor de alto rendimento adequado à condição de carga proposto

5 CONCLUSÕES

A partir dos estudos técnicos e econômicos feitos nesta pesquisa, pode-se concluir que:

a) o método utilizado para determinar o fator de carregamentos dos motores elétricos em uso no projeto Gorutuba é adequado e de baixo custo;

b) dos motores analisados, a substituição dos motores-padrão em uso por motores de alto rendimento adequados à condição de carga possibilita uma diminuição das potências instaladas e, por conseguinte, diminuição com o custo de energia elétrica para os produtores rurais do distrito de irrigação do Gorutuba;

c) a dificuldade de acesso aos produtores, principalmente os pequenos, prejudicou obter resultados de uma amostra maior;

d) novas medições poderiam ser feitas nos sistemas elétricos e também nos sistemas de irrigação para obtenção de resultados mais representativos, isto é, determinações das curvas de rendimento das bombas hidráulicas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. T. C.; MOREIRA, A. B.; PONTES, R. S. T.; **Análise comparativa de métodos para cálculo de eficiência de motores de indução em operação.** Agência Reguladora dos Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará. Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará. 2009. Disponível em: <<http://www.lamotriz.dee.ufc.br/pdfs/artigo%5B16%5D.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

CAMPANA, S. et al. Estudo comparativo de métodos para estimativa do carregamento e rendimento de motores elétricos para auditoria energética. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 241-246, 2000. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/revista/v4n2/241.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

CAVALCANTE NETO, T. N. **Curso de especialização em instalações prediais: motor elétrico parte 1.** Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Ceará. 2000. Disponível em: <<http://www.dee.ufc.br/~tomaz/.../MOTOR%20ELÉTRICO%20PARTE%201.pt>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

CEMIG, 23°. **BEEMG-Balanco Energético do Estado de Minas Gerais**. 2007.

Disponível em:

<http://www.cemig.com.br/cemig2008/media/anexo/23_BEEMG_2008.pdf>.

Acesso em: 10 jan. 2010.

CHRISTOFIDIS, Demétrios. Água, irrigação e segurança alimentar. **Revista Item Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 77, p. 19-21, 2008.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos/gorutuba>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

CODI. Comitê de Distribuição de Energia Elétrica. **Manual de orientação aos consumidores: energia reativa excedente**. 2004. Disponível em:

<http://www.enersul.com.br/clientes_alta_tensao/normas_manuais/pdf/Manual%20de%20Orienta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Energia%20Reativa%20Excedente.pdf>.

Acesso em: 10 jan. 2010.

ESPÍNDULA NETO, D. et al. Racionalização do uso de energia elétrica em um sistema de irrigação localizada na cultura do mamoeiro na região Norte do Espírito Santo. **Revista Papaya Brasil**, p. 391-393, 2005. Disponível em:

<http://www.fundagres.org.br/downloads/pi-mamao/2005_irrigacao_04.pdf>.

Acesso em: 10 jan. 2010.

FERREIRA, F.; TROVÃO, J.; CARVALHO, J.; **Avaliação do rendimento e do factor de potência dos motores de indução trifásico em função da carga e da ligação dos enrolamentos.** Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.

Departamento de Engenharia Eletrotécnica. Coimbra, Portugal. 2000.

Disponível em:

<http://www.deetc.isel.ipl.pt/jetc05/CCTE02/papers/finais/fortes/216_rectificado.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2010.

GALYTISKY, C.; WORREL, E. **TBEST Winery Guidebook:** benchmarking and energy and water savings tool for the wine industry. Energy Analysis

Department. Environmental Energy Technologies Division. Ernest Orlando:

Lawrence Berkeley National Laboratory, Oct. 2005.

KASSAI, J. R. et al. **Retorno de investimento:** abordagens matemática e contábil do lucro empresarial. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

LIMA, A. C. de. **Desenvolvimento de indicadores de eficiência energética para avaliação de pivôs centrais de irrigação.** 2008. 205 p. Tese (Doutorado em Ciências)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

LOPES, D. C. et al. Programa computacional para adequação de força motriz considerando o remanejamento dos motores existentes. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 1, p. 51-63, jan./mar. 2006. Disponível em:

<<http://br.monografias.com/trabalhos-pdf900/programa-computacional-motriz/programa-computacional-motriz.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

MARQUES, Milton César Silva (Coord.). ELETROBRÁS/PROCEL. **Eficiência energética: teoria e prática**. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2007.

MATTOS, L. B. de. **Demanda de energia elétrica no Estado de Minas Gerais: 1970/2002**. 2004. 132 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

OLIVEIRA FILHO, D.; TEIXEIRA, C. A.; RIBEIRO, M. C. Racionalização de energia elétrica de uma estação de pressurização de um perímetro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 135-141, 2004. Disponível em:
<<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v8n1/v8n1a20.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

PORTO, L. G. C.; CREPPE, R. C. **Modelo matemático para analisar o desempenho dos motores elétricos em máquinas de processamento de arroz**. DEE/FEB. Bauru: UNESP, 1994. Disponível em:
<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000200028&script=sci_arttext>. Acesso em: 10 jan. 2010.

SCHAEFFER, R. et al. **Avaliação dos índices de eficiência energética para motores trifásicos de indução**.RELATÓRIO FINAL. PPE/COPPE/UFRJ.Rio de Janeiro. set. 2005. Disponível em:
<http://www.clasponline.org/files/Relatorio%20final%2008set05_portuguese.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2010.

TEIXEIRA, C. A. **Metodologia para adequação do uso de força motriz em processos agrícolas**. 2002.155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 2002.

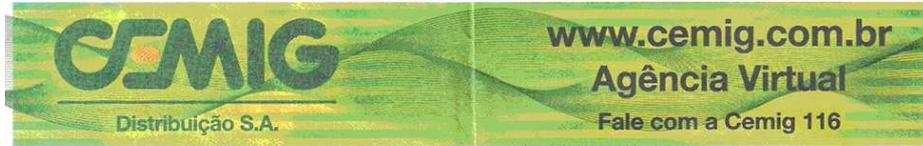
UNESP/FEG/DEE. **Eletrotécnica geral: IX** motores elétricos. p. 14. Disponível em: <http://dee.feg.unesp.br/Disciplinas/SEL4001/Capitulo_9.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2010.

WEG. **Catálogo geral motores elétricos**. Jaraguá do Sul: WEG, 2002.

ANEXOS

- Anexo A: Conta de energia elétrica de um produtor rural do projeto Gorutuba
- Anexo B: Tabela de características técnicas de motores elétricos de alto rendimento WEG
- Anexo C: Resolução 553 da ANEEL

Anexo A: Conta de energia elétrica de um produtor rural do projeto Gorutuba



Cemig Distribuição S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / Insc. Estadual 062.322136.0087 / Av. Barbacena, 1.200 – 17º andar – Ala A1 – CEP 30190-131 – Bale Horizonte – MG

COL MOSQUITO COL. ALGODOES/MOSQUITO 39525-000 NOVA PORTEIRINHA, MG	Referente a MAR/2010 Código de Débito Automático:	Nº DO CLIENTE
--	--	---------------

NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U Nº 002821999 - PTA Nº16.000114527.70

Classificação Rural Trifásico	Medição NBB004000730	Datas de Leitura ANTERIOR: 10/02 ATUAL: 12/03 PRÓXIMA: 12/04	Datas da Nota Fiscal EMISSÃO: 16/03 APRESENTAÇÃO: 22/03	Nº DA INSTALAÇÃO
--	--------------------------------	--	--	-------------------------

Informações Técnicas				
Tipo de Medição	Leitura Anterior	Leitura Atual	Constante de Multiplicação	Consumo kWh
Energia Noturna	24.148	24.596	1	448
Energia	17.107	17.597	1	590

Informações Gerais
Tarifa vigente conforme Res. Aneel nº 797, de 07/04/09
Direito ao desconto do benefício da atividade de irrigação noturna Artigo 2º da Resolução ANEEL nº 207.
O pagamento desta conta não quita débitos anteriores.

Valores Faturados			
Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)
Energia Elétrica kWh	590	0,26574599	156,78
Energia Elétrica - kWh Noturno	448	0,23214624	104,01
Encargos / Cobrança			
Multa 2% conta de 02/2010 sobre R\$ 242,73			4,85
Juros mora 1%am; 4 dia(s) sobre R\$ 242,73			0,32
Desconto Irrigante Noturno			75,92-

Indicadores de Quantidade de Fornecimento

NOVA PORTEIRINHA
Região: DIST. DISTR. DE JANAÚBA

Mês: 01/2010	DIC	FIC	DMIN	Consideradas
Apurado	0,30	1,00	0,30	as interrupções
Permitido	6,87	4,35	3,97	acima de 3 Min.

Tensão: Nominal = 220/127 V Min. = 201/116 V Máx. = 231/133 V
Valor Encargo USO Sist. Distribuição: R\$ 85,75

Informações de Faturamento

Parcelas	Valor R\$	%	Parcelas	Valor R\$	%
Energia	51,04	27,61	Enc. Setoriais	14,20	7,68
Distribuição	84,52	45,72	Tributos	28,23	15,27
Transmissão	6,88	3,72	Total	184,87	100,00

VENCIMENTO 04/04/2010	VALOR A PAGAR R\$ 190,04
--	---

Histórico do Consumo

Mês/Ano	Consumo kWh	Média kWh/Dia	Dias de Faturamento
MAR/10	1.038	34,60	30
FEV/10	1.380	47,59	29
JAN/10	918	27,82	33
DEZ/09	496	16,53	30
NOV/09	623	18,88	33
OUT/09	2.254	77,72	29
SET/09	1.602	53,40	30
AGO/09	2.030	61,52	33
JUL/09	2.005	66,83	30
JUN/09	1.509	50,30	30
MAI/09	623	19,47	32
ABR/09	638	22,00	29
MAR/09	857	28,57	30

Reservado ao Físico
FCFE.825D.2D77.2E7C.8ACF.5180.A65C.4EA2

Base do Cálculo(R\$) 156,78	ICMS Aliquota(%) 12	Valor(R\$) 18,81	PASEP (R\$) 1,69	CONFINs 7,73
---------------------------------------	-------------------------------	----------------------------	----------------------------	------------------------

SID008713400 090410 001 0011.....190,04 0501

Anexo B: Tabela de características técnicas de motores elétricos de alto rendimento WEG

W21 Alto Rendimento Plus

Potência		Carcaça	RPM	Corrente nominal em 220V (A)	Corrente com rotor bloqueado I_p / I_n	Conjugado nominal C_n (kgfm)	Rendimento η %			Fator de potência $\cos \varphi$			Fator de serviço F S
cv	kW						% da potência nominal						
							50	75	100	50	75	100	
2 Pólos - 60 Hz													
0,16	0,12	63	3420	0,751	5,3	0,03	47	55	61,7	0,52	0,62	0,68	1,15
0,25	0,18	63	3380	0,996	4,7	0,05	55	61	65	0,55	0,65	0,73	1,15
0,33	0,25	63	3390	1,3	5	0,07	56	62	66,4	0,58	0,7	0,76	1,15
0,5	0,37	63	3380	1,68	5,5	0,11	57	70	72,2	0,55	0,7	0,8	1,15
0,75	0,55	71	3400	2,35	6,2	0,16	65	71	74	0,62	0,75	0,83	1,15
1	0,75	71	3440	2,92	7,8	0,21	78,1	80,3	81,2	0,65	0,76	0,83	1,15
1,5	1,1	80	3400	4	7,5	0,32	82	82,7	83	0,71	0,81	0,87	1,15
2	1,5	80	3400	5,6	7,7	0,42	81,3	83,5	83,7	0,66	0,78	0,84	1,15
3	2,2	90S	3440	8,08	7,8	0,62	83	85	85,1	0,68	0,79	0,84	1,15
4	3	90L	3430	10,8	7,8	0,83	85	86	86	0,71	0,8	0,85	1,15
5	3,7	100L	3500	12,7	9	1,02	84	86	87,6	0,73	0,83	0,87	1,15
6	4,5	112M	3475	15,1	8	1,24	86,5	88	88,1	0,76	0,85	0,89	1,15
7,5	5,5	112M	3500	18,9	8	1,53	86,5	88,5	88,7	0,74	0,82	0,86	1,15
10	7,5	132S	3515	25	7,5	2,04	88,2	89,5	89,6	0,77	0,85	0,88	1,15

Anexo C: Resolução 553 da ANEEL

GABINETE DO MINISTRO

PORTARIA INTERMINISTERIAL Nº 553, DE 8 DE DEZEMBRO DE 2005

OS MINISTROS DE ESTADO DE MINAS E ENERGIA, DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, E DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR, no uso da atribuição que lhes confere o art. 87, parágrafo único, inciso II, da Constituição, tendo em vista o disposto na Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, no Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001, e no art. 2º do Decreto nº 4.508, de 11 de dezembro de 2002, e considerando que o art. 2º da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, estabelece que compete ao Poder Executivo estabelecer os níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética; foi instituído o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE, com a finalidade de elaborar regulamentação específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia, e estabelecer Programa de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado;

a regulamentação específica de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, bem como os níveis mínimos de eficiência energética estão contemplados no Decreto nº 4.508, de 11 de dezembro de 2002; e

o Programa de Metas deve ser estabelecido por meio de Portaria Interministerial; resolvem:

Art. 1º Aprovar o Programa de Metas de motores elétricos de indução trifásicos, na forma constante do Anexo à presente Portaria.

Art. 2º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

SILAS RONDEAU CAVALCANTE SILVA
Ministro de Estado de Minas e Energia
SÉRGIO MACHADO REZENDE
Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia
LUIZ FERNANDO FURLAN

Ministro de Estado do Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior

Publicado no D.O de 12.12.2005, seção 1, p. 98, v. 142, n. 237.
Este texto não substitui o publicado no D.O de 12.12.2005.

ANEXO
PROGRAMA DE METAS

Art. 1º Este Programa de Metas complementa a regulamentação específica de motores elétricos de indução trifásicos, atendendo ao disposto no § 2º do art. 2º da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001.

Art. 2º A caracterização do produto objeto desta Portaria é apresentada nos arts. 1º e 2º do Anexo I do Decreto nº 4.508, de 11 de dezembro de 2002.

Art. 3º Fica estabelecido que os níveis mínimos de rendimento nominal a serem atendidos pelos motores elétricos de indução trifásicos, caracterizados no art. 2º deste Anexo, estão definidos na TABELA 1 - RENDIMENTOS NOMINAIS MÍNIMOS, sem a distinção dos níveis de rendimento nominal entre as linhas padrão e alto rendimento de motores elétricos de indução, definidas no art. 5º do Anexo I do Decreto nº 4.508, de 2002.

Parágrafo único. Os valores constantes desta regulamentação estarão sujeitos às tolerâncias descritas na norma NBR 7094/2000 da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Art. 4º A data limite para fabricação no País ou importação dos motores objeto da regulamentação aqui tratada e que não atendam ao disposto no art. 3º deste Anexo será de quatro anos a partir da entrada em vigor desta Portaria.

Art. 5º A data limite para comercialização no País dos motores referidos no art. 4º será de quatro anos e seis meses a partir da vigência deste ato.

Parágrafo único. Os conhecimentos de embarque dos motores importados mencionados no caput deverão ser emitidos até a data limite fixada no art. 4º.

Art. 6º A data limite para fabricação no País ou importação de máquinas motrizes de uso final cujos motores componentes sejam objeto desta

regulamentação e que não atendam ao disposto no art. 3º deste Anexo será de quatro anos a partir da publicação desta Portaria.

Parágrafo único. Para as máquinas motrizes de uso final para as quais o atendimento a esta regulamentação implicar em modificações onerosas, financeiramente, tecnicamente ou operacionalmente, a serem devidamente justificadas, comprovadas e aceitas pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, ou ao órgão por ele indicado, o prazo definido no caput será estendido por mais seis meses.

Art. 7º A data limite para comercialização no País de máquinas motrizes de uso final referidas n art. 6º será de quatro anos e seis meses a partir da vigência deste ato.

Parágrafo único. Para as máquinas motrizes de uso final para as quais o atendimento a esta regulamentação implicar em modificações onerosas, financeiramente, tecnicamente ou operacionalmente, a serem devidamente justificadas, comprovadas e aceitas pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, ou ao órgão por ele indicado, o prazo do caput será estendido por mais seis meses.

Art. 8º O Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE, instituído pelo Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001, será o responsável pelo acompanhamento e a avaliação das ações governamentais de suporte à implantação deste Programa de Metas, por intermédio do Comitê Técnico de Motores, cabendo-lhe elaborar relatórios semestrais que subsidiem a verificação da viabilidade de atendimento desta Portaria, bem como propor ações complementares no sentido de compatibilizar o prazo de atendimento ao andamento das ações governamentais.

Art. 9º Até as datas estabelecidas nos arts. 4º , 5º , 6º e 7º, os motores caracterizados no art. 2º deste Anexo ficam sujeitos aos valores de rendimentos nominais mínimos estabelecidos pelo Decreto nº 4.508, de 2002.

ANEXO 1 – RENDIMENTOS NOMINAIS MÍNIMOS

Potencia Nominal		Pólos			
Cv ou hp	KW	2	4	6	8
1,0	0,75	80,0	80,5	80,0	70,0
1,5	1,1	28,5	81,5	77,0	77,0
2,0	1,5	83,5	84,0	83,0	82,5
3,0	2,0	85,0	85,0	83,0	84,0
4,0	3,0	85,0	86,0	85,0	84,5
5,0	3,7	87,5	87,5	87,5	85,5
6,0	4,5	88,0	88,5	87,5	85,5
7,5	5,5	88,5	89,5	88,0	85,5
10	7,5	89,5	89,5	88,5	88,5
12,5	9,2	89,5	90,0	88,5	88,5
15	11	90,2	91,0	90,2	88,5
20	15	90,2	91,0	90,2	89,5
25	18,5	91,0	92,4	91,7	89,5
30	22	91,0	92,4	91,7	91,0
40	30	91,7	93,0	93,0	91,0
50	37	92,4	93,0	93,0	91,7
60	45	93,0	93,6	93,6	91,7
75	55	93,0	94,1	93,6	93,0
100	75	93,6	94,5	94,1	93,0
125	90	94,5	94,5	94,1	93,6
150	110	94,5	95,0	95,0	93,6
175	132	94,7	95,0	95,0	
200	150	95,0	95,0	95,0	
250	185	95,4	95,0		

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)