

UNESP

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Maurício Sampaio Schiavi

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA NA
IMPLANTAÇÃO DE INVERSORES DE
FREQUÊNCIA EM SISTEMAS DE
BOMBEAMENTO**

Guaratinguetá

2013

MAURÍCIO SAMPAIO SCHIAVI

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA NA IMPLANTAÇÃO
DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS DE
BOMBEAMENTO

Trabalho de Graduação apresentado
ao Conselho de Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica da Faculdade de
Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade Estadual
Paulista, como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna

Guaratinguetá
2013

S329a

Schiavi, Maurício Sampaio

Análise da viabilidade econômica na implantação de inversores
frequência em sistemas de bombeamento / Maurício Sampaio Schiavi –
Guaratinguetá : [s.n], 2013.

55 f : il.

Bibliografia: f. 48-49

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.

Orientador: Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna

1. Inversores elétricos 2. Energia elétrica – Conservação I. Título

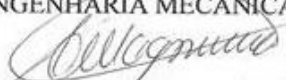
CDU 621.314.572

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA NA IMPLANTAÇÃO DE
INVERSORES DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS DE BOMBEAMENTO


Maurício Sampaio Schiavi

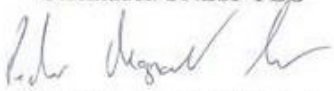
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. Dr. Antonio Wagner Forti
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. PEDRO MAGALHÃES SOBRINHO
UNESP-FEG


Prof. THIAGO AVERALDO BIMESTRE
UNESP/COTEC

Novembro de 2013

MAURÍCIO SAMPAIO SCHIAVI

NASCIMENTO 14.03.1987 – JUNDIAÍ / SP

FILIAÇÃO Bruno Schiavi
Dalva Sampaio Schiavi

2006/2013 Curso de Graduação
UNESP/FEG – Universidade Estadual Paulista –
Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

com carinho à todos aqueles que me ajudaram durante essa difícil jornada e principalmente aos meus pais pelo apoio dado ao longo de todos esses anos.

SCHIAVI, MAURÍCIO S. **Análise da viabilidade econômica na implantação de inversores de frequência em sistemas de bombeamento.** 2013. 55 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo realizar um estudo da viabilidade econômica na implantação de inversores de frequência em sistemas de bombeamento com vazões variáveis. A preocupação com a redução do gasto energético nas indústrias ganhou força em 2001 devido a crise energética que afetou o Brasil naquela época, forçando as indústrias a reduzirem seus gastos elétricos sob pena de multas caso isso não fosse realizado (MOREIRA, 2008). Inversor de frequência é um dispositivos eletrônico que permite um maior controle em operação de sistemas de bombeamento com vazões variáveis e também uma redução no consumo elétrico, sendo uma solução viável para o alcance de uma redução energética. Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessária a abordagem de tópicos importantes em sistemas de bombeamento, para que assim fosse possível a correta escolha do bombeador hidráulico e também das outras partes responsáveis pelo funcionamento do sistema, como motores elétricos e o próprio inversor de frequência. No estudo de caso, pôde-se realizar uma análise teórica do comportamento do consumo elétrico em sistemas com vazões variáveis, quando o sistema é operado através de inversores de frequência e quando o sistema é operado sem tal dispositivo. Conforme esperado, o resultado da implantação do dispositivo foi bastante satisfatório, atingindo assim o objetivo principal de redução do gasto energético. Importante destacar também o lado ambiental deste trabalho, visto que toda a forma de produção de energia afeta a natureza em alguma maneira, sendo assim, tal redução no consumo também contribui indiretamente na conservação do meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Inversores de frequências, Sistemas de bombeamento com vazões variadas, eficiência energética, conservação de energia.

SCHIAVI, MAURÍCIO S. **Analysis of economic feasibility in the implementation of variable frequency inverters in pump systems**. 2013. 55 f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013

ABSTRACT

The present work aims to conduct a study of the economic feasibility of the implementation of variable frequency inverters in pump systems with variable flow rates. The concern with the reduction of energy expenditure in industries raised in 2001 due to the energy crisis that hit Brazil at that time, forcing industries to reduce their electric costs under penalty of fines if this were not done (MOREIRA, 2008). Frequency inverter is an electronic device that allow greater control in the operation of pumping systems and also a reduction in electrical consumption, being a viable solution to achieve a reduction in energy consumption. For the development of this work, approaching important topics in pumping systems was necessary in order to make a correct choice of hydraulic pumping and also other components responsible for the operation of the system, such as electric motors and frequency inverters. In the case study, a theoretical analysis of the behavior of electrical consumption in systems with variable flow rates was performed, comparing when the system is operated via frequency inverters and when the system is operated without such a device. As expected, the result of the implantation of the device was quite satisfactory, and the primary goal of reducing energy expenditure was achieved. Also important to highlight the environmental issue of this work, as all forms of energy production affects nature in some way, achieving a reduction in consumption also contributes indirectly in environmental conservation.

KEYWORDS: Frequency Inverters, Pump systems with variable flows, energy efficiency, energy conservation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Altura Geométrica (H_{geo}).....	14
FIGURA 2	Método do comprimento equivalente.....	15
FIGURA 3	Curva do sistema.....	19
FIGURA 4	Levantamento da curva característica de uma bomba.....	19
FIGURA 5	Curva característica Bomba KSB Meganorm 80-250 - 1750rpm.....	20
FIGURA 6	Esquema representativo das potências atuantes na bomba.....	22
FIGURA 7	Curva do sistema x curva da bomba.....	22
FIGURA 8	Curva do sistema controlada através de válvulas.....	24
FIGURA 9	Lei da similaridade.....	26
FIGURA 10	Curva característica de uma bomba operando com diferentes diâmetros de rotor.....	27
FIGURA 11	Motor trifásico W22 Plus.....	28
FIGURA 12	Triângulo de potência.....	29
FIGURA 13	Curvas típicas: a) η x carga; b) $\cos \varphi$ x carga.....	30
FIGURA 14	Inversor de frequência WEG CFW 11.....	32
FIGURA 15	Conjunto moto-bomba KSB.....	33
FIGURA 16	Esquema representativo das potência em um conjunto moto-bomba.....	33
FIGURA 17	Croqui do sistema de bombeamento.....	34
FIGURA 18	Curva do sistema obtida.....	37
FIGURA 19	Curva característica Bomba KSB Megachem 32-125 (ponto 1).....	38
FIGURA 20	Modelo de bomba Megachem KSB.....	38
FIGURA 21	Curva característica Bomba KSB Megachem 32-125 (ponto 2 a 5).....	40

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Valores de rugosidade da parede do tubo para diferentes materiais.....	17
TABELA 2	Levantamento da curva do sistema.....	36
TABELA 3	Reserva de potência para os motores elétricos.....	40
TABELA 4	Dados calculados (método de fechamento de válvula).....	41
TABELA 5	Dados calculados (método do inversor de frequência).....	42
TABELA 6	Valores calculados de potência elétrica (Pele) para ambos os métodos.....	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO.....	11
1.2	ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	ALTURA TOTAL DO SISTEMA.....	13
2.1.1	Altura estática	13
2.1.1.1	Altura geométrica.....	13
2.1.1.2	Carga de pressão.....	14
2.1.2	Altura dinâmica	14
2.1.2.1	Perda de carga.....	14
2.1.2.2	Carga de velocidade.....	18
2.2	CURVA CARACTERÍSTICA DO SISTEMA.....	18
2.3	CURVA CARACTERÍSTICA DA BOMBA.....	19
2.4	POTÊNCIA HIDRÁULICA DA BOMBA.....	21
2.5	POTÊNCIA MECÂNICA REQUERIDA PELA BOMBA (P MEC).....	21
2.6	PONTO DE OPERAÇÃO DE TRABALHO.....	21
2.7	FATORES QUE ALTERAM O PONTO DE TRABALHO.....	23
2.7.1	Alteração da AMT total do sistema	23
2.7.2	Alteração da rotação da bomba	24
2.7.3	Alteração do diâmetro do rotor	26
2.8	MOTORES ELÉTRICOS.....	27
2.9	INVERSORES DE FREQUÊNCIA.....	30
2.9.1	Classificação dos inversores de frequência	31
2.9.1.1	Inversores escalares.....	31
2.9.1.2	Inversores vetoriais.....	31
2.10	SISTEMAS DE BOMBEAMENTO.....	32
3	METODOLOGIA	34
3.1	SELEÇÃO DA BOMBA HIDRÁULICA.....	37
3.2	CÁLCULO DA POTÊNCIA ELÉTRICA PELE.....	39
3.2.1	Cálculo da potência mecânica (operação através de fechamento de válvulas	39

3.2.2	Cálculo da potência mecânica (operação através de inversor de frequência)	41
3.3	CÁLCULO DA POTÊNCIA ELÉTRICA P_{ELE}.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
4.1	ESTIMATIVA DE PAY-BACK.....	45
5	CONCLUSÃO.....	47
	REFERÊNCIAS.....	48
	ANEXO A - Método do comprimento equivalente.....	50
	ANEXO B - Diagrama de Moody para a sucção.....	51
	ANEXO C - Diagrama de Moody para a descarga.....	52
	ANEXO D - Tarifa energia elétrica (EDP Bandeirante)	53

1 INTRODUÇÃO

Atualmente uma das principais palavras de ordem nas grandes empresas é a redução de seus gastos, dentre eles, pode-se destacar os gastos com energia elétrica. Tais gastos não eram antigamente uma grande preocupação para as empresas, visto que a energia elétrica era subsidiada pelo governo. Com a questão da crise energética, onde as empresas foram obrigadas a reduzirem seus consumos de energia, e com o aumento do preço da energia elétrica causado pela diminuição do subsídio do governo, a preocupação com a otimização operacional de equipamentos elétricos ganhou uma grande importância.

No início da crise energética causada pela crescente demanda energética e agravada pela falta de incentivos na área de geração de energia, muito se falou em relação ao uso de novas fontes de geração de energia e da ampliação das já existentes, porém a política de redução dos desperdícios foi a solução mais econômica e de menor prazo (MOREIRA, 2008).

Neste trabalho, iremos comparar os consumos energéticos de um sistema de bombeamento operando com um motor com inversor de frequência, com um sistema sem tal dispositivo.

Neste contexto, podemos justificar a aplicação de inversores de frequência em sistemas de bombeamento com vazão variável, pois tais equipamentos são capazes de evitar desperdícios de energia elétrica e proporcionar um melhor controle de operação em sistemas de bombeamento.

Importante ressaltar também que outros motivos também são responsáveis por um mal dimensionamento de um sistema, sejam eles por superdimensionamento da potência dos motores (margem de segurança muito elevada) ou até mesmo má seleção da bomba hidráulica, cujo ponto de operação não coincide com o BEP (Best Efficiency Point), como será abordado no decorrer deste trabalho.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo realizar um estudo de viabilidade econômica na implantação de inversores de frequência em um sistema de bombeamento com vazão variável.

1.2 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

No capítulo 1 é feita a abordagem do tema a ser discutido, destacando a tentativa atual das empresas em reduzir seu consumo elétrico como sendo um dos principais fatores para a implantação de inversores de frequência nas indústrias.

No capítulo 2 foi feita uma revisão bibliográfica, abordando os principais componentes presentes em um sistema de bombeamento.

No capítulo 3 são apresentados a metodologia do trabalho e um estudo de caso, no qual pode-se comparar o consumo elétrico do sistema quando operado através de um inversor de frequência e quando operado sem tal dispositivo.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos no capítulo 3 e também uma estimativa para o Pay-back

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões sobre o trabalho realizado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Bombas hidráulicas são basicamente equipamentos utilizados para o transporte de fluidos de um ponto a outro através de tubulações, existindo no mercado vários tipos de bombas, cada qual mais indicada a ser utilizada em um tipo de aplicação específica. Neste trabalho iremos utilizar um bombeador do tipo centrífugo radial.

Para o entendimento de como um sistema de bombeamento funciona, primeiramente é necessário a abordagem de alguns outros dispositivos e conceitos, como altura manométrica total, perda de carga, curva do sistema, motores elétricos trifásicos, inversores de frequência, entre outros.

2.1 ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL DO SISTEMA (AMT):

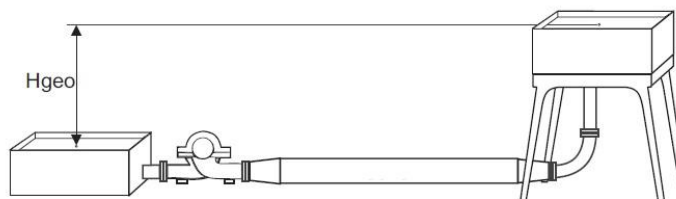
Podemos considerar a altura manométrica total do sistema (AMT), como sendo a soma das parcelas referente a altura estática (geométrica + carga de pressão) e a altura dinâmica (perda de carga + carga de velocidade) e representa a energia por unidade de peso que o sistema solicita para transportar o fluido do reservatório de sucção para o reservatório de descarga, com uma determinada vazão (SILVA, 2003).

2.1.1 Altura estática

Formada pela altura geométrica (H_{geo}) e pela carga de pressão.

2.1.1.1 Altura geométrica:

Diferença de cota entre o nível de sucção e o nível de descarga do líquido, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1 – Altura Geométrica (H_{geo})

Fonte: (SILVA, 2003)

2.1.1.2 Carga de pressão

É a diferença de pressão existente entre o reservatório de descarga e o reservatório de sucção em sistemas fechados. Para sistema abertos, esta parcela pode ser considerada nula.

2.1.2 Altura dinâmica

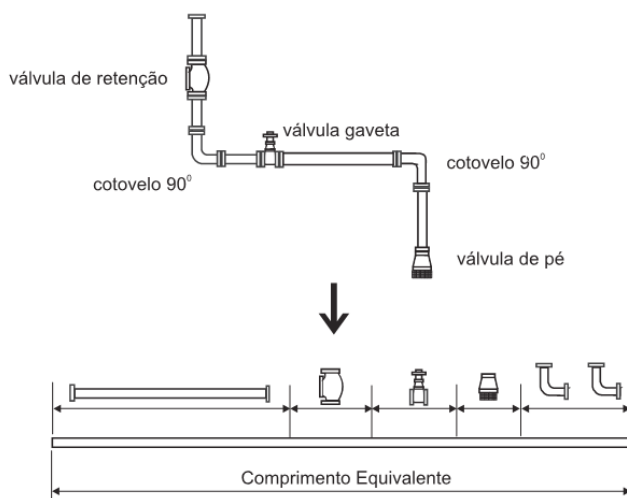
Formada de perda de carga total (H_p) e pela carga de velocidade.

2.1.2.1 Perda de carga:

A perda de carga em um sistema de bombeamento, ocorre devido ao atrito entre o fluido bombeado e as paredes da tubulação e consiste na perda de energia ou de pressão entre dois pontos de uma tubulação, sendo essas, perdas de cargas presentes nas tubulações, acessórios, válvulas e outros (SILVA, 2003).

Existem muitas formulações que calculam esta perda de carga, porém neste trabalho utilizaremos apenas a fórmula de Darcy-Weisback, pelo fato de poder ser aplicada em qualquer tipo de fluido e para tubulações de qualquer diâmetro e material (SILVA, 2003). Utilizaremos também o método do comprimento equivalente, que “compara” a perda de carga localizada com perdas de carga correspondentes a tubulações retilíneas, facilitando assim os cálculos. A figura 2, ilustra um esquema sobre o princípio do método do comprimento equivalente, através da comparação da perda de carga dos acessórios e curvas da tubulação (perdas localizadas), com as correspondentes perdas distribuídas.

Figura 2 – Método do comprimento equivalente



Fonte: (SILVA, 2003)

Para o cálculo de perda de cargas, pode-se utilizar os seguintes passos:

1. Para o cálculo do diâmetro da tubulação, utiliza-se a equação (1) abaixo, respeitando as condições da velocidade de escoamento do fluido. Após o cálculo desse diâmetro, deve-se extrair do anexo 1 o valor do diâmetro comercial, imediatamente superior ao valor calculado (Manual técnico SCHNEIDER).

Velocidade recomendada de sucção $\leq 1,5$ m/s (limite 2,0 m/s)

Velocidade recomendada de recalque $\leq 2,5$ m/s (limite 3,0 m/s)

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{V\pi}} \quad (1)$$

Sendo:

Q = vazão requerida [m³/s]

V = velocidade de escoamento do fluido [m/s]

D = Diâmetro da tubulação [m]

2. Através do anexo 1 , encontra-se também os comprimentos equivalentes (C_{equi}) para a perda de carga localizada nos acessórios e curvas da tubulação.
3. Número de Reynolds (Re):

Número adimensional que indica em qual regime de escoamento o fluido está sendo submetido e também importante para o descobrimento do valor do coeficiente de atrito do escoamento (f) (anexos 2 e 3). Porém antes mesmo do cálculo deste número, é necessário a abordagem de alguns importantes parâmetros que compõem esta equação, abordados por SILVA (2003) da seguinte maneira:

- Viscosidade dinâmica ou absoluta (μ): exprime a medida das forças internas de atrito do fluido e é justamente o coeficiente de proporcionalidade entre a tensão de cisalhamento e o gradiente de velocidade da Lei de Newton;
- Massa específica (ρ): razão entre a massa do fluido e o volume ocupado pelo mesmo;
- Viscosidade cinemática (ν): razão entre a viscosidade dinâmica e a massa específica.

Após o conhecimento dos parâmetros acima, pode –se calcular o valor do Número de Reynolds através da equação (2) abaixo:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2)$$

Onde:

Re: Número de Reynolds [número adimensional]

V: velocidade de escoamento do fluido [m/s]

D: diâmetro da tubulação [m]

ν : viscosidade cinemática do fluido [m²/s]

4. Cálculo da rugosidade relativa:

Através da relação k/D , encontra-se a rugosidade relativa que será usada no Diagrama de Moody (anexo 2) para encontrar o fator de atrito (f), sendo k o valor da rugosidade relativa do material. Alguns valores de k são mostrados na tabela 1.

Tabela 1 – Valores de rugosidade da parede do tudo para diferentes materiais

MATERIAL	k (m) - TUBOS NOVOS	k (m) - TUBOS VELHOS
Aço galvanizado	0,00015 - 0,00020	0,0046
Aço rebitado	0,0010 - 0,0030	0,0060
Aço revestido	0,0004	0,0005 - 0,0012
Aço soldado	0,00004 - 0,00006	0,0024
Chumbo	lisos	lisos
Cimento amianto	0,000013	-----
Cobre ou latão	lisos	lisos
Concreto bem acabado	0,0003 - 0,0010	-----
Concreto ordinário	0,0010 - 0,0020	-----
Ferro forjado	0,00004 - 0,00006	0,0024
Ferro fundido	0,00025 - 0,00050	0,0030 - 0,0050
Madeira com aduelas	0,0002 - 0,0010	-----
Manilhas cerâmicas	0,0006	0,0030
Vidro	lisos	lisos
Plástico	lisos	lisos

Fonte: (SILVA, 2003)

Onde:

k: rugosidade relativa da parede da tubulação[m]

D: diâmetro da tubulação [m]

5. Fator f -> Moody

Através do número de Reynolds calculado no passo 3, do fator k/d calculado no passo 4, podemos através do gráfico anexo 2, encontrar o fator de atrito f. Este valor, será usado para o cálculo da perda de carga do sistema.

6. Através da equação de Darcy-Weisback, encontra-se o valor da perda de carga

$$H_p = \frac{f C_{equiv} V^2}{2 D g} \quad (3)$$

Sendo:

H_p = perda de carga [mca]

f = fator de atrito extraído do Diagrama de Moody

$C_{equi.}$ = Comprimento equivalente como descrito anteriormente (figura 2)

D = Diâmetro da tubulação [m]

g = aceleração da gravidade [m/s^2]

2.1.2.2 Carga de velocidade

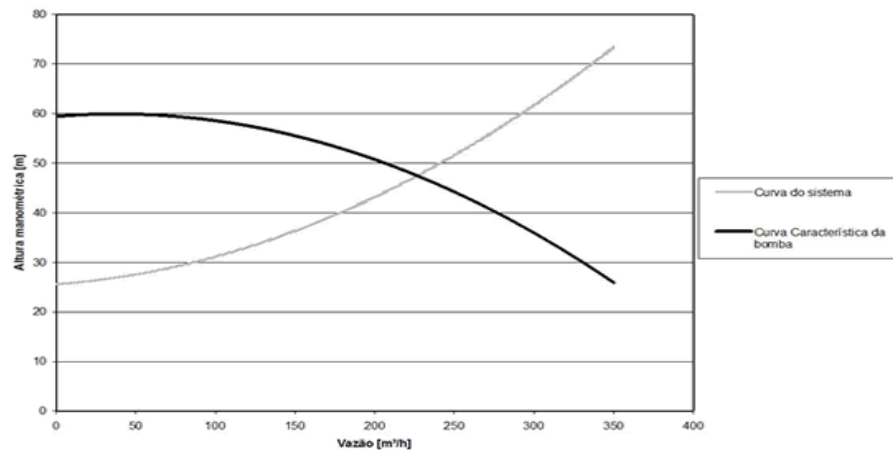
É a diferença entre a carga de velocidade do fluido no reservatório de sucção e no reservatório de recalque. Na prática, esta parcela pode ser desprezada (SILVA, 2003).

2.2 CURVA CARACTERÍSTICA DO SISTEMA:

Os sistemas de bombeamento, normalmente são compostos pelas bombas, válvulas, tubulações e demais acessórios. Para que um sistema de bombeamento opere em um ponto de operação desejado, isso não depende apenas da bomba, mas sim também da curva característica do sistema, pois através dela pode-se descobrir como o sistema se comportará quando submetido à diferentes condições de operação, como por exemplo, em sistemas com vazões ou cargas variáveis.

Para cada valor de vazão aplicada na tubulação, têm-se um valor diferente de perda de carga, gerando-se assim diferentes valores para a altura manométrica do sistema, como abordado anteriormente. Mais a frente, abordaremos com mais detalhes o levantamento da curva de um sistema.

Figura 3 – Curva do sistema



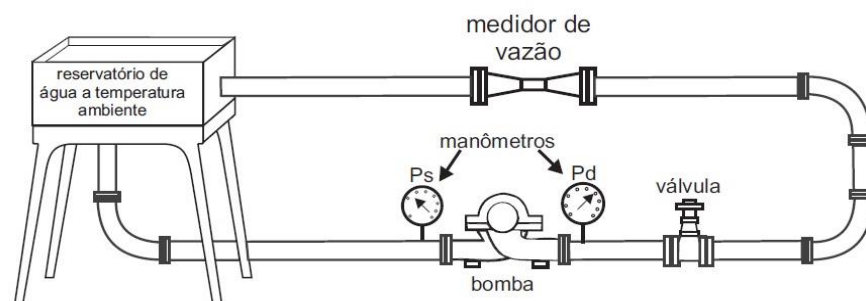
Fonte: (Website OMEL Bombas e Compressores Ltda)

2.3 CURVA CARACTERÍSTICA DA BOMBA

Após o levantamento da curva do sistema, passa a ser necessário a seleção correta da bomba hidráulica, pois está deverá atender o ponto de operação desejado (vazão x altura) do projeto.

Para se ter conhecimento da curva característica da bomba (processo normalmente realizado pelo fabricante), utiliza-se um banco de provas montado através de manômetros na sucção e recalque da bomba, uma válvula reguladora de vazão e um medidor de vazão, conforme figura 4.

Figura 4: Levantamento da curva característica de uma bomba



Fonte: (SILVA,2003)

Sendo:

- Ps: pressão no flange de sucção da bomba

- Pd: pressão no flange de descarga da bomba
- válvula após a descarga: responsável pelo controle da vazão
- medidor de vazão: responsável em obter os valores da vazão em cada instante

Procedimento:

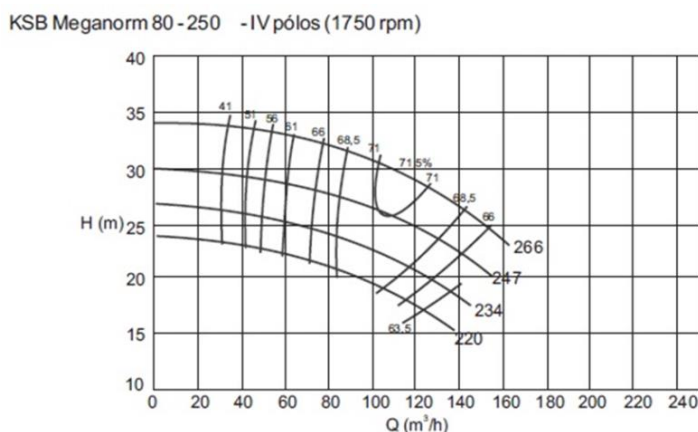
Utilizando-se de um sistema conforme ilustrado da figura 4, primeiramente coloca-se a bomba em funcionamento com a válvula totalmente fechada, encontrando-se assim a pressão máxima desenvolvida pela bomba (Shut-off) para aquele diâmetro de rotor. Tal pressão é encontrada, através do simples cálculo da pressão diferencial, que consiste na pressão de descarga lida no manômetro da descarga subtraída da pressão de sucção lida no manômetro da sucção.

Através da abertura da válvula de controle da vazão, outros valores de pressão diferencial serão encontrados, e através da plotagem destes pontos, juntamente com os valores de vazões lidos no medidor de vazão, pode-se obter a curva característica de uma bomba.

É comum pelos fabricantes de bombas, o levantamento de diversas curvas através da mudança do diâmetro do rotor utilizado na bomba. A correta determinação do diâmetro do rotor é necessária para que se possa atender exatamente o ponto de operação do projeto, sofrendo o rotor um processo de usinagem até atingir seu diâmetro especificado.

A figura 5 representa uma curva característica de um bombeador hidráulico, onde o fabricante fez o levantamento da curva utilizando 4 diâmetros distintos de rotores, podendo porém o rotor ser usinado com qualquer diâmetro entre 220 e 266mm.

Figura 5: Curva característica Bomba KSB Meganorm 80-250 a 1750rpm



Fonte: (SILVA,2003)

2.4 POTÊNCIA HIDRÁULICA DA BOMBA

Potência hidráulica representa a potência necessária para a realização do deslocamento do fluido e pode ser calculada seguindo a seguinte equação abaixo (SILVA,2003).

$$P_h = \frac{\gamma}{270} \quad (4)$$

Onde:

P_h = Potência Hidráulica fornecida pela bomba [cv]

Q = vazão [m^3/h]

H = pressão [mca]

270 = fator de conversão

γ = peso específico do fluido em [Kgf/dm^3]

2.5 POTÊNCIA MECÂNICA REQUERIDA PELA BOMBA (P_{MEC})

Representa a potência que o bombeador hidráulico realmente necessita durante sua operação e depende do rendimento hidráulico da bomba, cujo valor pode ser extraído diretamente na curva característica da bomba.

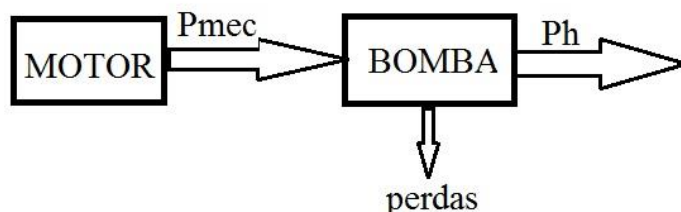
$$P_{mec} = \frac{P_h}{\eta_b} \quad (5)$$

Onde

η_b : rendimento hidráulico da bomba (extraído do manual do bombeador)

A figura 6 ajuda a ilustrar este conceito.

Figura 6 – Esquema representativo das potências atuantes na bomba



Fonte: (Elaborada pelo autor)

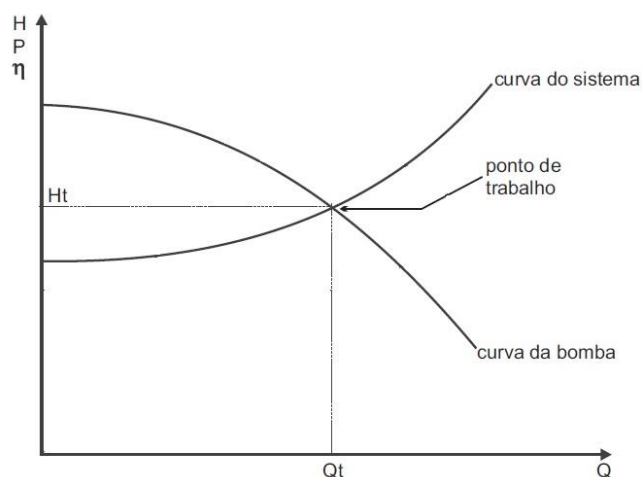
2.6 PONTO DE OPERAÇÃO DE TRABALHO

Para que um sistema de bombeamento opere com um ponto de trabalho desejado, é necessário que o levantamento da curva do sistema esteja correto e que a seleção da bomba e seu respectivo diâmetro de rotor estejam também corretos.

Plotando as curvas do sistema e da curva característica da bomba em um mesmo gráfico, obteremos uma intersecção entre as curvas, sendo este ponto o ponto de operação do sistema($Q_t \times H_t$).

Na prática, quando a bomba instalada não atinge a vazão solicitada, ou a mesma possui algum erro de fabricação, ou a curva do sistema está incorreta.

Figura 7 – Curva do sistema x curva da bomba



Fonte: (SILVA,2003)

2.7 FATORES QUE ALTERAM O PONTO DE TRABALHO

Após a instalação do sistema de bombeamento em campo, algumas alterações no ponto de operação podem ocorrer, sejam elas propositais (por exemplo necessidade de menos vazão no sistema) ou mesmo indesejadas (aumento natural da perda de carga da tubulação).

Segue abaixo alguns exemplos de como a condição de operação do sistema pode sofrer alteração.

2.7.1 Alteração da AMT total do sistema

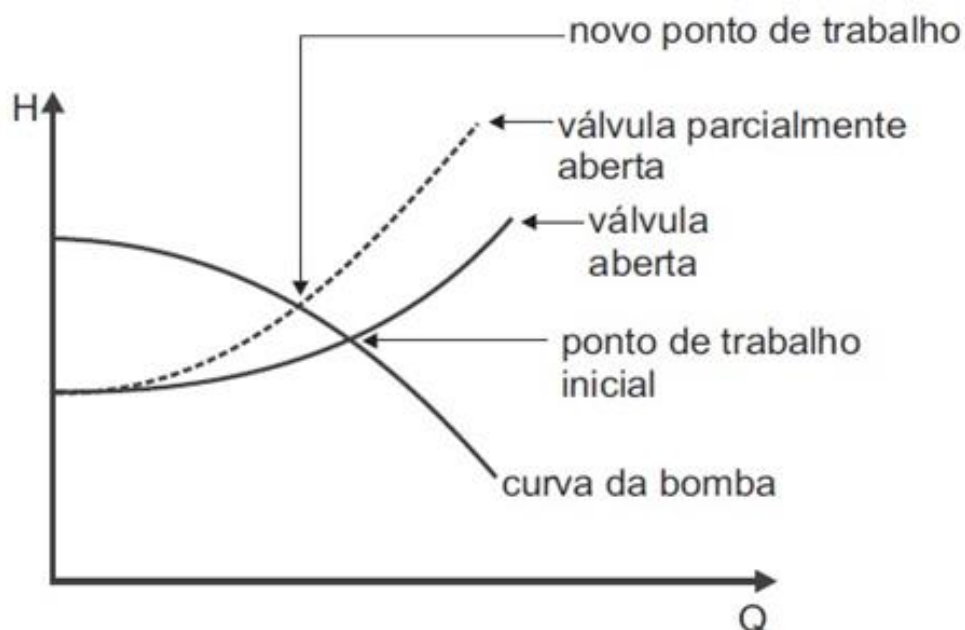
Pode-se considerar como sendo uma alteração da AMT do sistema, qualquer fator que possa alterá-la, como por exemplo variação na pressão dos reservatórios (em caso de reservatórios fechados), mudança nos diâmetros da tubulação que alterem a perda de carga do sistema, inclusão ou exclusão de acessórios na linha que alterem a perda de carga localizada, mudança das cotas dos reservatórios de sucção e descarga, abertura ou fechamento de válvulas, entre outros.

Afim de alterar o ponto de operação do sistema, dentre estes métodos citados acima, pode-se considerar o controle de vazão através de válvulas controladoras de fluxo como sendo o mais comum, pois através dessa operação se torna possível aumentar ou diminuir a perda de carga do sistema, fazendo a curva do sistema alterar e cruzar a curva característica da bomba em uma nova condição de trabalho (SILVA, 2003).

Wood e Reddy (1994), comparam esta operação como sendo “[...] conduzir um carro com o freio de mão acionado: o resultado é o desperdício desnecessário de energia”. Vale ressaltar também o grande desgaste gerado na válvula que está sendo usada nesta manobra. Segundo Kaya (2.008), estima-se que 65% da energia elétrica utilizada pela indústria seja destinada ao acionamento de motores elétricos .

A figura 8 ilustra duas diferentes curvas de sistema (válvula aberta e parcialmente aberta), que ao interceptarem a curva característica da bomba, geram dois diferentes pontos de trabalho .

Figura 8 – Curva do sistema controlada através de válvulas



Fonte: (SILVA,2003)

2.7.2 Alteração da rotação da bomba

Neste contexto, aplica-se a lei da similaridade, que representa principalmente a relação de proporcionalidade que os valores de vazão e pressão de uma curva característica de bomba, quando esta se submete à diferentes rotações. Tais variações de rotações, podem ser obtidas através da operação de motores elétricos com inversores de frequência, que são capazes de alterar a rotação de operação.

Pemberton (2005) acredita que é possível uma redução de 20% a 50% através da utilização de inversores de frequência e destaca essa economia devido às leis que regem a operação de bombas centrífugas, representadas na figura 9 abaixo.

- redução de vazão de acordo com uma função linear;
- redução de pressão de acordo com uma função quadrática;
- redução de potência de acordo com uma função cúbica

Através da lei da similaridade, temos que:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{2} \quad (6)$$

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = \frac{1}{2} \quad (7)$$

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \frac{P_1}{P_2} \quad (8)$$

Onde

n_1 = rotação com valores de Q_1 e H_1 já conhecidos

n_2 = nova rotação

Q_1 = vazão na rotação conhecida

H_1 = altura na rotação conhecida

Q_2 = vazão na nova rotação

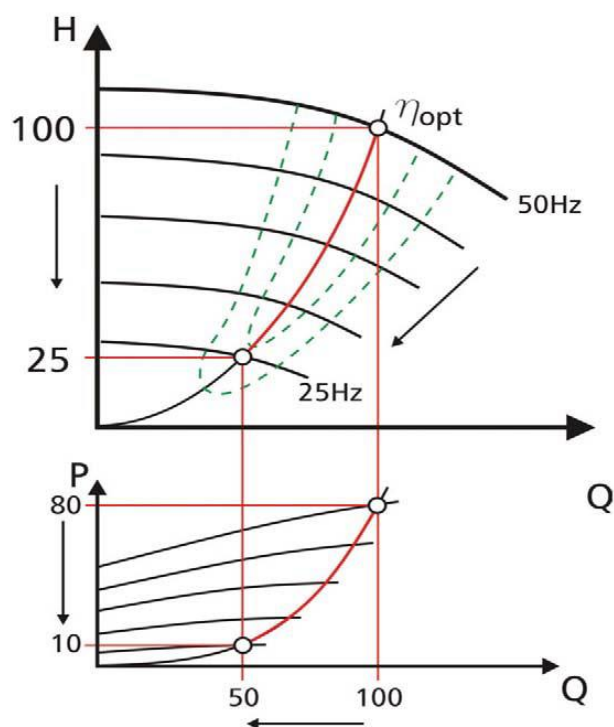
H_2 = altura na nova rotação

P_1 = potência mecânica requerida na rotação conhecida

P_2 = potência mecânica requerida na nova rotação

A figura 9 representa a lei da similaridade e ilustra o comportamento da vazão, pressão e potência consumida pela bomba, devido a variação da frequência de trabalho de 50Hz para 25Hz.

Figura 9 – Lei da similaridade



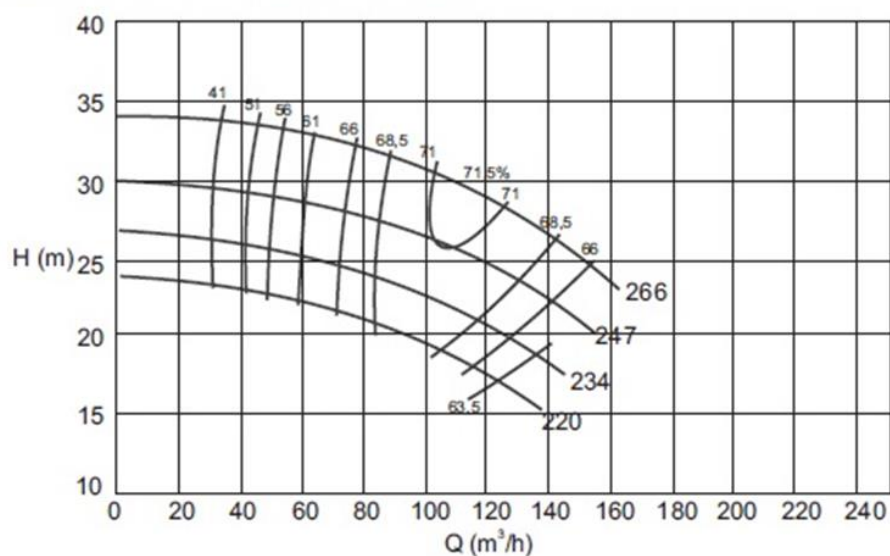
Fonte: (PEMBERTON,2005)

2.7.3 Alteração do diâmetro do rotor

Neste caso, a alteração da curva característica da bomba é obtida através da alteração do diâmetro do rotor da bomba. Importante destacar que alterações na medida do diâmetro original da bomba podem implicar na necessidade de uma troca do motor elétrico e também da base metálica onde o motor está fixado, caso o dimensional do novo motor não seja compatível com o dimensional do antigo.

Na figura 10, pode-se perceber como a alteração do diâmetro do rotor interfere na hidráulica do rotor, sendo o diâmetro do rotor compreendido entre 220 e 266mm.

Figura 10- Curva característica de uma bomba operando com diferentes diâmetros de rotor
KSB Meganorm 80 - 250 - IV pólos (1750 rpm)



Fonte: (SILVA,2003)

Este trabalho, basicamente faz um estudo sobre o consumo elétrico de um sistema de bombeamento quando o mesmo se encontra operado pelos métodos 2.71 e 2.72 descritos acima.

Analisando preliminarmente a equação 4, nota-se que o aumento do valor da pressão de trabalho da bomba, implica também em um aumento da potência consumida. Para o primeiro método, para conseguirmos diminuir a vazão do sistema, é necessário um fechamento de uma válvula, causando um aumento do AMT do sistema, e um aumento do gasto energético, além de causar um aumento no desgaste da válvula.

Para o segundo método, a diminuição da vazão se faz através da redução da rotação da bomba, diminuindo assim o gasto energético. Tal método será abordado novamente neste trabalho.

2.8 MOTORES ELÉTRICOS

Motores elétricos são amplamente usados nas indústrias como forma de fornecer energia mecânica à uma linha de produção industrial, seja através do acionamento de bombas, ventiladores, esteiras, pontes rolantes, entre outros. Devido a sua larga aplicação nas indústrias, encontra-se neste equipamento um grande potencial de redução de energia elétrica.

Diversos tipos de motores existem atualmente no mercado, porém neste trabalho iremos abordar apenas os motores assíncronos ou de indução com rotor tipo gaiola., que será o utilizado no estudo de caso deste trabalho. De acordo com Garcia (2.003), esse motor é responsável por mais de 90% da energia motriz produzida através da eletricidade no país.

De acordo com a Europump and Hydraulic Institute (2004), pode-se destacar como principais características os seguintes pontos:

- motores robustos, com alta confiabilidade
- fácil manutenção
- baixo custo
- relativa alta eficiência
- pequena variação da rotação do motor quando uma carga mecânica é aplicada ao eixo do motor (motor assíncronos)
- muito comum a aplicação de inversores de frequência nestes tipos de motores, para que assim seja possível um controle na velocidade de rotação da bomba

O funcionamento de um motor elétrico trifásico, basicamente pode-se ser explicado através do princípio da aplicação de um conjunto de 3 correntes elétricas defasadas em 120° elétricos, em bobinas também defasadas 120 graus no espaço, que cria um campo eletromagnético uniforme e girante, fazendo o rotor girar e criando assim a energia mecânica responsável por girar o bombeador hidráulico.

A figura 11 ilustra um motor elétrico assíncrono WEG de indução com rotor tipo gaiola, similar ao que será empregado neste trabalho.

Figura 11- Motor trifásico W22 Plus

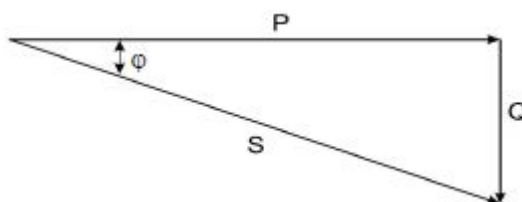


Fonte: Catálogo técnico WEG - Motores elétricos W22

Conforme abordado no início deste trabalho, após a crise energética ocorrida no Brasil em 2001 é que a preocupação com um correto dimensionamento de um sistema de bombeamento começou a ganhar mais importância dentro das empresas, na busca da redução dos desperdícios com energia elétrica. Apesar dos esforços das empresas para a mudança deste quadro, pode-se destacar o superdimensionamento dos sistemas juntamente com a utilização de válvulas controladores de fluxo como sendo ainda um dos grandes responsáveis pelo desperdício de energia elétrica nas empresas, sendo a falta de conhecimento sobre o ciclo e os elevados coeficientes de segurança durante o dimensionamento do sistema grande agravantes desta questão.

Um importante parâmetro para medir a eficiência elétrica em um motor elétrico é o fator de potência, representado pelo cosseno do ângulo formado entre a potência ativa (que realmente executa as tarefas) e a potência reativa (responsável apenas pela formação do campo magnético), conforme ilustrado na figura 12. Tal indicativo representa a razão entre a potência real e potência total, e possui valores ideais próximos a 1.

Figura 12 – Triângulo de potência



Fonte: (MOREIRA, 2008)

Sendo:

P: Potência ativa [W], que consiste na potência que realiza trabalho (calor, luz, movimento)

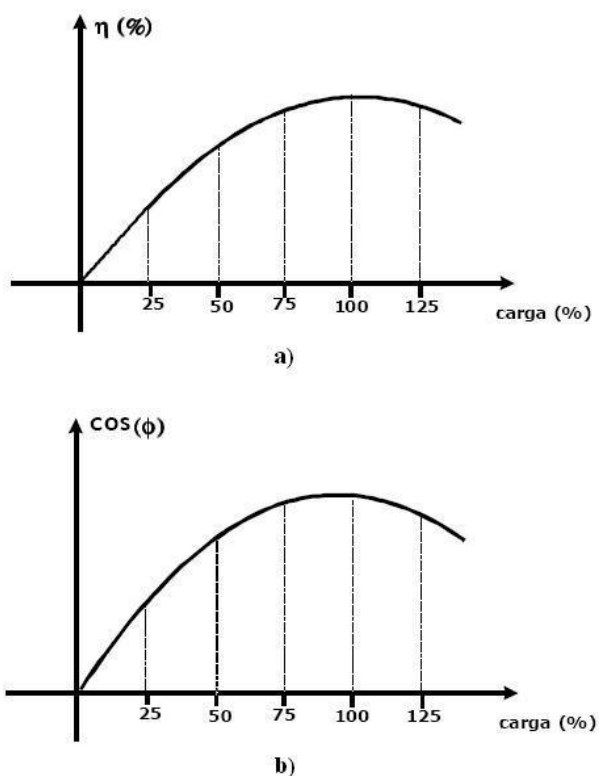
Q: Potência reativa [Var], que consiste na potência que não realiza trabalho, sendo apenas transferida aos elementos reativos, sendo necessária para a magnetização.

S: Potência aparente [VA], que consiste na resultante das potências.

Motores elétricos quando superdimensionados, passam a trabalhar com valores de potência nominal baixos, causando assim a diminuição do rendimento e consequentemente do fator de potência do motor.

Segundo WEG (2007), a faixa de operação ideal de se trabalhar para que o motor possa ter um maior rendimento é a faixa entre 75 e 100% da potência nominal, como representado na figura 13, que indica claramente uma queda brusca de rendimento quando o motor é operado com uma carga menor do que 50%.

Figura 13 - Curvas típicas: a) η x carga; b) $\cos \phi$ x carga.



Fonte: (MOREIRA, 2008)

2.9 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Com o desenvolvimento da área de eletrônica de potência, os acionadores eletrônicos ganharam mais importância e espaço no acionamento de sistemas de bombeamento que operam através de motores de indução trifásicos (MOREIRA,2008), pois através deles se tornou possível um controle maior sobre a rotação do motor.

Através do controle sobre a tensão e a frequência, tais dispositivos podem ser utilizados quando se deseja um acionamento suave das bombas (soft-start), através do controle de rotação durante a partida e o desligamento da bomba (aceleração e desaceleração), eliminando-se assim os picos de correntes no motor e resultando em uma economia de energia elétrica além do aumento da vida útil do motor (MOREIRA,2008).

A frequência padrão da rede elétrica no Brasil é de 60Hz e uma vez que a velocidade de um motor é diretamente proporcional à este parâmetro, encontra-se no inversor de frequência uma grande ferramenta para variar a frequência de trabalho, a velocidade de rotação do motor e conseqüentemente a curva característica da bomba, garantindo assim uma maior versatilidade ao motor de indução quanto ao seu controle.

Com a utilização deste acionador eletrônico, é possível variar a frequência de operação do motor, alterando assim a sua velocidade de rotação. Pelo fato do sistema operar exatamente com a rotação necessária, é que pode-se afirmar que este método possui uma significativa economia de energia, quando comparado com o controle através das válvulas. De acordo com PROCEL (2005), a expectativa de vida útil deste dispositivo é de 20 anos, sendo o tempo de recuperação do capital investido na aquisição do mesmo de 3 a 5 anos, concluindo-se que a operação com tal dispositivo gera um lucro durante 15 a 17 anos, devido a redução do consumo energético.

2.91 Classificação dos inversores de frequência

Sucintamente, os inversores podem ser divididos em 2 grupos (MOREIRA, 2008), como listados abaixo:

2.911 Inversores escalares

Mais utilizados quando se deseja uma partida suave dos motores (soft-starters). Possui como princípio de funcionamento, a operação com uma relação entre tensão e frequência (V/f) constantes, sendo assim, não opera com alto torque em baixas rotações.

2.912 Inversores vetoriais

Controlam os valores de tensão (V) e frequência (f) independentemente, sendo assim capazes de atingir altos torques mesmo quando operados em baixas rotações. Tal dispositivo é indicado quando existe a necessidade de um controle mais eficaz de operação do motor e possui um maior custo.

A figura 14 representa um inversor de frequência, dispositivo comumente utilizados no controle do acionamento de motores elétricos, similar ao que será utilizado neste trabalho.

Figura 14: Inversor de frequência WEG CFW 11



Fonte: Catálogo técnico WEG - Inversor de frequência CFW11

2.10 SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

Presente na maior parte das indústrias, sistemas de bombeamento se fazem de vital importância na maioria das linhas de produção durante o transporte de fluidos de um ponto a outro. Muito além de apenas a bombas hidráulica, tais sistemas possuem vários componentes e acessórios, tais como reservatórios, manômetros, válvulas, filtros, entre outros, justificando assim a importância de um bom projeto.

Um termo muito comum usado em tais sistemas, é o termo “conjunto moto-bomba”, que consiste em uma bomba acoplada a um motor elétrico através de um acoplamento

responsável pela transmissão da rotação do eixo do motor ao eixo da bomba, sendo este conjunto montado em cima de uma base metálica, como ilustrado na figura 15.

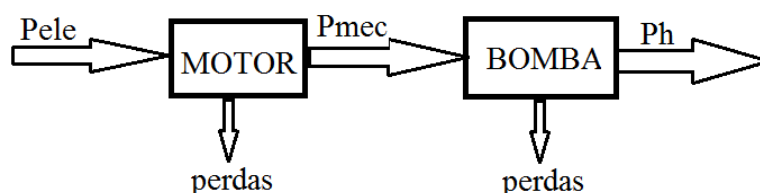
Figura 15: Conjunto moto-bomba KSB



Fonte: Manual técnico KSB

Durante a fase de projeto, deve-se levar em conta em um conjunto moto-bomba que tanto o rendimento do motor como o rendimento da bomba geram perdas significativas e precisam ser estudados, para que o melhor aproveitamento energético possa ser atingido. A figura 16 representa esta idéia.

Figura 16: Esquema representativo das potência em um conjunto moto-bomba



Fonte: (Elaborada pelo autor)

Sendo,

$$P_{\text{ele}} = \frac{P_{\text{mec}}}{\eta_{\text{motor}}} \quad (9)$$

Onde:

η_{motor} : rendimento do motor elétrico

P_{ele} : potência elétrica requerida pelo motor

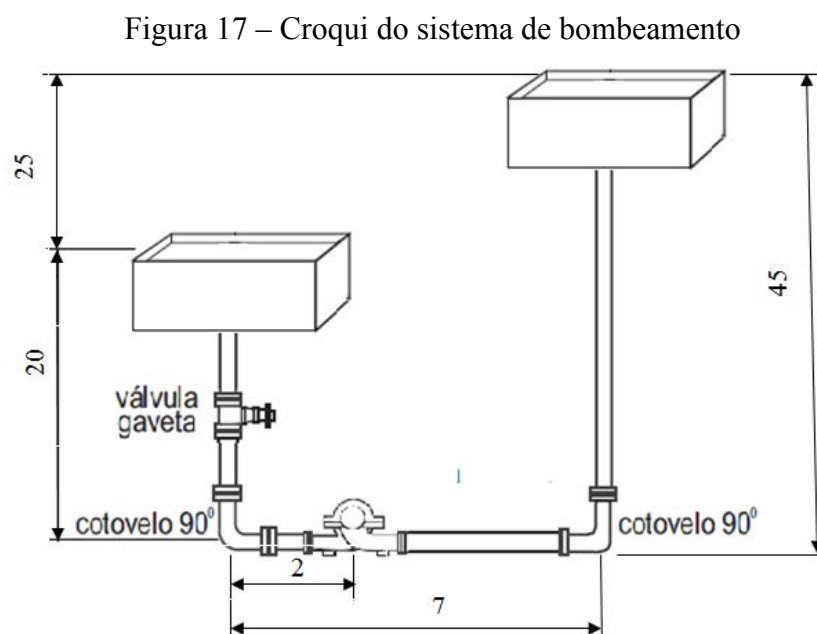
P_{mec} : potência mecânica requerida pela bomba

3 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, a princípio iremos arbitrar cinco diferentes valores de vazão ($30\text{[m}^3\text{/h]}$, $27\text{ [m}^3\text{/h]}$, $24,3\text{[m}^3\text{/h]}$, $21,9\text{ [m}^3\text{/h]}$, $19,7\text{[m}^3\text{/h]}$) desejados em um sistema de bombeamento, cujo croqui também será arbitrado. Para atingirmos essas cinco diferentes condições de operação, serão utilizados dois diferentes métodos, sendo o primeiro através da utilização de válvulas (pontos de operação representados por 1,2,3,4 e 5) e o segundo utilizando-se um inversor de frequência no acionamento do motor elétrico (pontos de operação representados por (2', 3', 4' e 5'). Após a análise das potências consumidas em ambos os casos, iremos concluir sobre a viabilidade da implantação dos inversores de frequência no controle desses motores.

Na figura 17 é representado o croqui da instalação que será utilizada neste trabalho, que consiste de dois reservatórios, dois cotovelos de 90° , uma válvula de gaveta e o bombeador hidráulico.

Esquema:



Fonte: (Elaborada pelo autor)

Para o levantamento da curva do sistema, foi necessário um estudo do comportamento do sistema para quatro diferentes valores de vazões ($10[\text{m}^3/\text{h}]$, $20[\text{m}^3/\text{h}]$, $30[\text{m}^3/\text{h}]$ e $40[\text{m}^3/\text{h}]$, seguindo o seguinte roteiro:

Considerações:

1-) Neste caso, o reservatório de sucção e de descarga são abertos, ou seja, estamos considerando carga de pressão igual a zero;

2-) Altura geométrica ($H_{\text{geo}} = 25 [\text{mca}]$)

3-) Carga de velocidade : desprezível;

4-) Fluido bombeado: água limpa a 25°C

5-) $v = 0,000001[\text{m}^2/\text{s}]$

Roteiro:

1- Transformação da vazão de $[\text{m}^3/\text{h}]$ para $[\text{m}^3/\text{s}]$.

2- Através da equação 1, e adotando-se uma velocidade inicial de escoamento no valor de $1,5[\text{m/s}]$ para sucção e $3,0[\text{m/s}]$ para o recalque, calculam-se os valores preliminares do diâmetro da tubulação (D_{calc}).

3- Comparando os valores encontrados no passo 2 com os valores de diâmetro comerciais mostrados no Anexo 1, seleciona-se um novo valor de diâmetro, cujo o valor é imediatamente acima ao diâmetro calculado (D_{com}).

4- Cálculo da nova velocidade de escoamento, considerando-se agora o emprego de um diâmetro comercial (V_{esc}).

5- Considerando-se o novo diâmetro de operação, através do anexo 1, pode-se encontrar o valor de comprimento equivalente nas perdas de cargas concentradas para a válvula de gaveta e os cotovelos de 90° (C_{equiv}).

Cotovelo 90° para tubulação com diâmetro de $100[\text{mm}] = 2,1[\text{m}]$

Cotovelo 90° para tubulação com diâmetro de $75[\text{mm}] = 1,6[\text{m}]$

Válvula gaveta para tubulação com diâmetro de $100[\text{mm}] = 0,7[\text{m}]$

6- Soma do valor do comprimento equivalente para os acessórios (válvula gaveta + curva 90° com o comprimento da tubulação (C_{tub})), para se encontrar o comprimento equivalente total do sistema (C_{tot}).

- 7- Através da figura 3 , encontra-se o valor da rugosidade da tubulação (k). Neste caso, consideraremos o material como sendo ferro fundido, $k= 0.00025[m]$).
- 8- Através da equação 2, encontra-se o valor do Número de Reynolds ($N^{\circ}Rey$).
- 9- Através da relação k/D , encontra-se a rugosidade relativa do material.
- 10- Com os valores do Número de Reynolds e rugosidade relativa, através do anexo 2 (sucção) e anexo 3 (recalque), encontram-se os valores de f (fator de atrito) para cada valor de vazão
- 11- Através da equação (3), calculam-se os valores de perda de carga (H_p) para a sucção e o recalque separadamente
- 12- Somando-se os valores de perda de carga com o valores do desnível geométrico(H_{geo}) a ser vencido pelo sistema de bombeamento, encontra-se a AMT (altura manométrica total) do sistema, que está sendo representada pela letra H [mca].

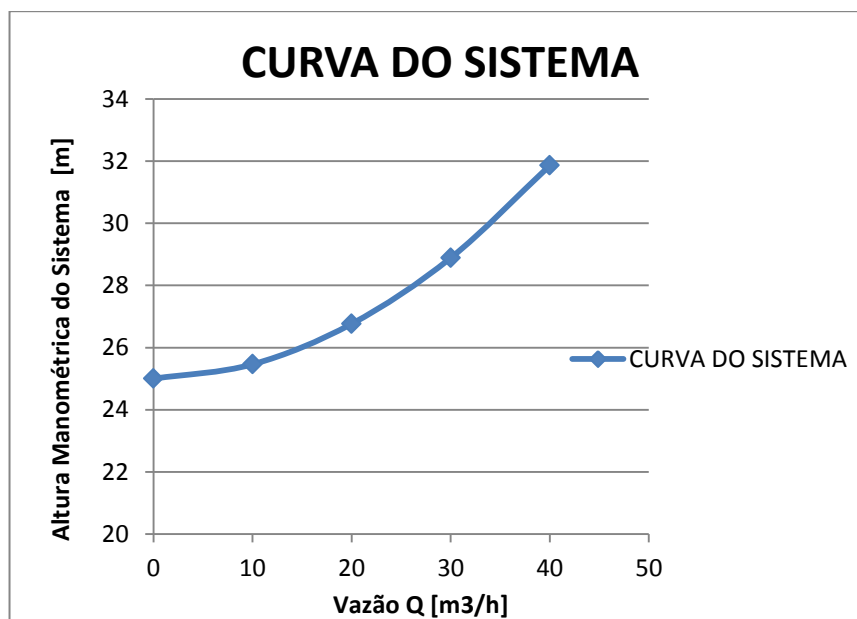
Através dos cálculos descritos anteriormente, é possível a elaboração da tabela 2, que resume todos os resultados obtidos até o momento.

Tabela 2 - Levantamento da curva do sistema

<u>SUCÇÃO</u>														
Q [m3/h]	Q [m3/s]	Dcalc.[m]	Dcalc. [mm]	Dcom. [mm]	Dcom [m]	Vesc.[m/s]	Cequiv.gav.	C.equiv.raio 90°	Ctub.	Ctot	N°Rey	k/d	f	Hp [mca]
0	0													
10	0,003	0,049	48,570	100	0,1	0,354	0,7	2,1	22	24,8	3,54E+04	0,0025	0,0280	0,044
20	0,006	0,069	68,688	100	0,1	0,708	0,7	2,1	22	24,8	7,08E+04	0,0025	0,0266	0,168
30	0,008	0,084	84,126	100	0,1	1,062	0,7	2,1	22	24,8	1,06E+05	0,0025	0,0252	0,359
40	0,011	0,097	97,140	100	0,1	1,415	0,7	2,1	22	24,8	1,42E+05	0,0025	0,0250	0,633
<u>RECALQUE</u>														
Q [m3/h]	Q [m3/s]	Dcalc.[m]	Dcalc. [mm]	Dcom. [mm]	Dcom [m]	Vesc.[m/s]	Cequiv.gav.	C.equiv.raio 90°	Ctub.	Ctot	N°Rey	k/d	f	Hp [mca]
0														
10	0,003	0,034	34,344	75	0,075	0,629	N.A	1,6	52	53,6	4,72E+04	0,0033	0,0290	0,418
20	0,006	0,049	48,570	75	0,075	1,258	N.A	1,6	52	53,6	9,44E+04	0,0033	0,0277	1,597
30	0,008	0,059	59,486	75	0,075	1,887	N.A	1,6	52	53,6	1,42E+05	0,0033	0,0272	3,529
40	0,011	0,069	68,688	75	0,075	2,516	N.A	1,6	52	53,6	1,89E+05	0,0033	0,0270	6,227
<u>TOTAL</u>														
	Hp[m]	Hgeo[m]	H[mca]											
0			25											
10	0,462	25,000	25,462											
20	1,766	25,000	26,766											
30	3,888	25,000	28,888											
40	6,860	25,000	31,860											

Plotando-se os valores de H (altura manométrica) representados na tabela 2, juntamente com os respectivos valores de vazão, é possível o levantamento da curva do sistema, conforme figura 18:

Figura 18 - Curva do sistema obtida



Fonte: (Elaborada pelo autor)

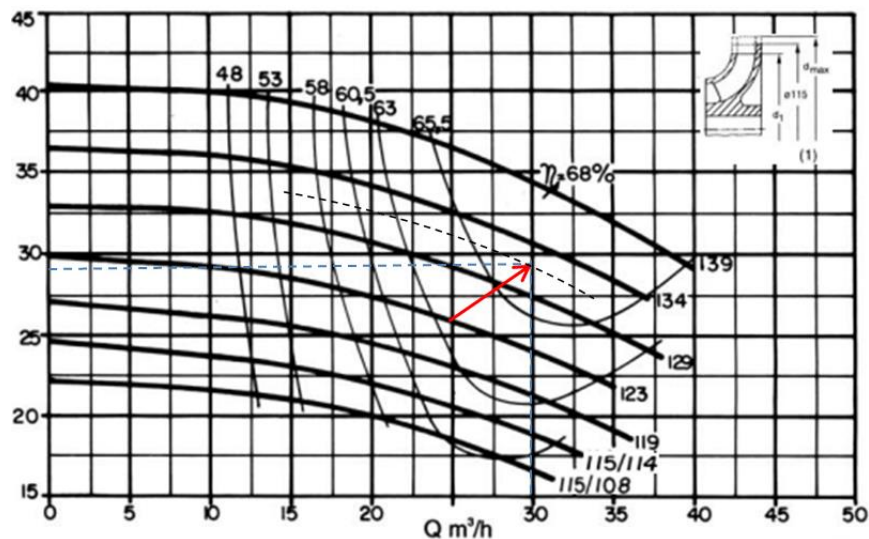
3.1 – SELEÇÃO DA BOMBA HIDRÁULICA

Com a posse dos valores requeridos de vazão e pressão da condição 1 , encontra-se o bombeador hidráulico que melhor atenderá às especificações.

Após o conhecimento do ponto de operação 1, se faz necessário a seleção da bomba hidráulica a ser utilizada no projeto, sempre procurando selecionar um bombeador hidráulico cujo ponto de operação esteja próximo ao BEP (Best Efficient Point), afim de obter um melhor aproveitamento hidráulico e consequentemente energético do sistema.

Consultando-se o manual de curva de bombas do fabricante KSB, conclui-se que o modelo Megachem 32-125 operada a 3500rpm é o que mais se enquadra às nossas necessidades, conforme representando na figura 19.

Figura 19 – Curva característica Bomba KSB Megachem 32-125



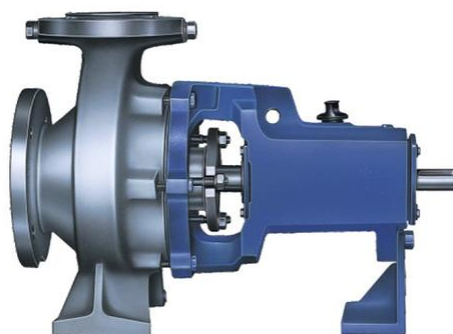
(Ponto de operação 1: $30\text{m}^3/\text{h} \times 29\text{mca}$)

Fonte: (Manual técnico KSB Megachem)

O ponto 1 representado na figura acima, representa o ponto de operação na condição inicial ($30[\text{m}^3/\text{h}] \times 29[\text{mca}]$) e com ele também é possível especificarmos o diâmetro do rotor que será utilizado ($132[\text{mm}]$) .

A figura 20 é uma representação da bomba KSB modelo Megachem escolhida neste projeto.

Figura 20- Modelo de bomba Megachem KSB



Fonte: (Manual técnico KSB Megachem)

3.2 CÁLCULO DA POTÊNCIA MECÂNICA (P_{MEC})

Calcularemos neste trabalho o valor da potência mecânica consumida pela bomba quando operada através de fechamento de válvulas e quando operada através de um inversor de frequência.

3.2.1 Cálculo da potência mecânica (operação através de fechamento de válvulas)

Através da Figura 19, encontra-se o valor de rendimento do bombeador hidráulico quando submetido à condição de operação de 30m³/h x 29mca, sendo o valor encontrado de $\eta = 66\%$

Através do rearranjo das equações (4) e (5) temos que:

$$P_{mec} = \frac{\gamma}{\eta_b} \frac{Q \cdot H}{1000} \quad (10)$$

Sendo:

Q: vazão de 30[m³/h]

H: altura manométrica de 29[mca]

γ : peso específico de 1 [Kgf/dm³]

P_{mec1} : Potência elétrica consumida pela bomba [cv] na condição 1

η_b : rendimento hidráulico da bomba

1[cv]: 0,736[KW]

$$P_{mec1} = \frac{30 \cdot 29 \cdot 1}{0,66 \cdot 20} = 4,88 \text{ [cv]} \Rightarrow P_{mec1} = 3,60 \text{ [KW]}$$

De acordo com o fabricante da bomba, recomenda-se uma folga mínima de 15% para motores com potência requerida no intervalo de 2cv a 20 cv, conforme tabela 3.

Tabela 3 – Reserva de potência para os motores elétricos.

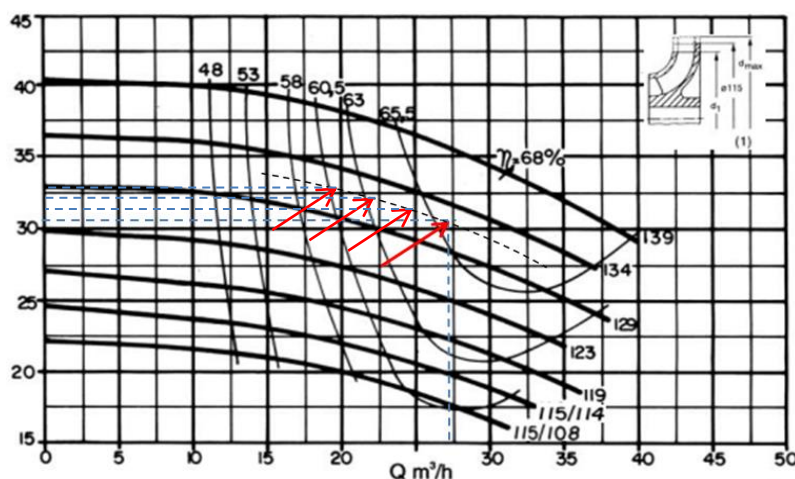
Potência requerida pela bomba [cv]	Reserva de potência para o motor de acionamento
Até 2	Aproximadamente 20%
Até 20	Aproximadamente 15%
Acima de 20	Aproximadamente 10%

Fonte: (Manual Técnico KSB Megachem)

Sendo assim, iremos trabalhar com um motor de $4,88 \cdot 1,15 = 5,6 \Rightarrow 6$ cv / 2 pólos (3500rpm)

Para reduzirmos a vazão do sistema de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ para as demais vazões através do uso de válvulas, basta fecharmos gradativamente a mesma até que a vazão desejada seja obtida. Importante destacar que o novo valor de pressão relativo a essa nova condição de operação, será determinado através do cruzamento dos valores das novas vazões de operação com o diâmetro do rotor da bomba, conforme mostrado na figura 21.

Figura 21- Curva característica Bomba KSB Megachem 32-125



(Pontos de operação 2,3,4 5e 5)

Fonte: (Manual técnico KSB Megachem)

Através dos dados coletados na figura 21 e analogamente aos cálculos detalhados realizados anteriormente, calcula-se a tabela 4.

Tabela 4 – Dados calculados (método de fechamento de válvula)

Ponto	Q [m ³ /h]	H [mca]	η%	n [rpm]	P _{mec} [cv]	P _{mec} [KW]
1	30	29	66	3500	4,88	3,60
2	27	30,5	65,7	3500	4,64	3,42
3	24,3	31,3	64,8	3500	4,35	3,20
4	21,9	32,0	63,5	3500	4,09	3,00
5	19,7	32,8	61	3500	3,92	2,89

3.2.2- Cálculo da potência mecânica (operação através de inversor de frequência)

Primeiramente, encontra-se através da equação 6 a nova rotação n_2' que a bomba deverá operar para atingir a vazão de 27[m³/h], sem a necessidade de uma operação com as válvulas.

$$\frac{n_1}{n_2'} = \frac{Q_1}{Q_2} \quad (6)$$

$$\frac{3500}{n_2'} = \frac{30}{27}$$

$$n_2' = 3150 \text{ [rpm]}$$

Através da equação 7, encontra-se o novo valor de pressão de operação da bomba, devido à redução da rotação:

$$\left(\frac{n_1}{n_2'}\right)^2 = \frac{H_1}{H_2'} \quad (7)$$

$$\left(\frac{3500}{3150}\right)^2 = \frac{29}{H_2'}$$

$$H_2 = 23,5 \text{ [mca]}$$

Após o cálculo da nova rotação, encontra-se agora através da equação 8 a nova potência consumida $P_{mec'2}$:

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \frac{P_{mec1}}{P_{mec'2}} \quad (8)$$

$$\left(\frac{3500}{3150}\right)^3 = \frac{4,88}{P_{mec'2}}$$

$$P_{mec'2} = 3,56[\text{cv}] \Rightarrow P_{mec'2} = 2,62 \text{ [KW]}$$

Analogamente, podemos agora elaborar a tabela 5 com todos os valores de potência mecânica consumida por sistemas operados com inversores de frequência.

Tabela 5 – Dados calculados (método do inversor de frequência)

Ponto	Q [m ³ /h]	H [mca]	n [rpm]	P _{mec} [cv]	P _{mec} [KW]
1	30	29	3500	4,88	3,60
2'	27	23,5	3150	3,56	2,62
3'	24,3	19,03	2835	2,60	1,91
4'	21,9	15,46	2555	1,90	1,40
5'	19,7	12,52	2299	1,38	1,02

3.3 CÁLCULO DA POTÊNCIA ELÉTRICA P_{ELE}

Motores elétricos, assim como todos os equipamentos e máquinas existentes possuem perdas, sendo assim devemos considerar o rendimento desses motores nos cálculos de gasto de energia elétrica, conforme figura 13.

Dados: Fonte: (Tabela elétrica motores WEG)

Motor 6cv / 3500rpm

Carga 50% da nominal: $\eta = 87\%$

Carga 75% da nominal: $\eta = 88\%$

Carga 100% da nominal: $\eta = 88.5\%$

Pelo fato do rendimento do motor variar de acordo com a carga que está sendo aplicada à ele, um cálculo rápido é necessário para descobrirmos o valor dessa carga.

Condição de operação 1 ($\frac{P_{mec1}}{P_{motor}} = \frac{4,88}{6}$) \Rightarrow 81,3% de carga no motor $\Rightarrow \eta_{motor} = 88,1\%$

Condição de operação 2 ($\frac{P_{mec2}}{P_{motor}} = \frac{4,64}{6}$) \Rightarrow 77,3% de carga no motor $\Rightarrow \eta_{motor} = 88,0\%$

Condição de operação 3 ($\frac{P_{mec3}}{P_{motor}} = \frac{4,35}{6}$) \Rightarrow 72,5% de carga no motor $\Rightarrow \eta_{motor} = 87,9\%$

Condição de operação 4 ($\frac{P_{mec4}}{P_{motor}} = \frac{4,09}{6}$) \Rightarrow 68,2% de carga no motor $\Rightarrow \eta_{motor} = 87,8\%$

Condição de operação 5 ($\frac{P_{mec5}}{P_{motor}} = \frac{3,92}{6}$) \Rightarrow 65,3% de carga no motor $\Rightarrow \eta_{motor} = 87,7\%$

Com os valores da P_{mec} [KW] das tabelas 4 e 5, juntamente com os valores de rendimento dos motores elétricos, calculam-se as potência elétricas requerida pelo motor, através da equação 9, cujos resultados estão sendo mostrados na tabela 6 .

Importante ressaltar que durante a operação com inversor de frequência, ocorre uma diminuição do rendimento do motor, porém tal variação será desconsiderada por se tratar de uma diferença não muito significativa, visto que a perda Joule corresponde ao maior componente de perda e não possui grande alteração, como abordado na seguinte passagem : “ [...] embora as perdas no ferro (dependem da frequência) diminuam um pouco, as perdas Joule (dependem da corrente ao quadrado) praticamente se mantêm para uma carga de torque constante, de modo a não haver significativa variação global das perdas ” (WEG, Motores de Indução alimentados por inversores de frequência, p.12).

$$P_{ele} = \frac{P_{mec}}{\eta_{motor}} \quad (9)$$

Tabela 6 – Valores calculados de potência elétrica (P_{ele}) para ambos os métodos

Fechamento de válvulas		Inversor de frequência		Redução energética
PONTO	P_{ele} [KW]	PONTO	$P_{ele'}$ [KW]	$P_{ele} - P_{ele'}$ [KW]
1	4,08	1	4,08	0
2	3,89	2'	2,98	0,91
3	3,64	3'	2,17	1,47
4	3,42	4'	1,59	1,83
5	3,30	5'	1,16	2,14
				Total = 6,35

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 6 representada anteriormente faz uma comparação da potência elétrica requerida pelo motor elétrico nas 5 condições de vazão, quando o sistema é operado por manobra de válvulas e quando operado por inversor de frequência.

4.1 ESTIMATIVA DE PAY-BACK

Para o cálculo do Pay-back, serão utilizados 3 diferentes tarifas de energia elétrica, simulando assim diferentes situações:

Tarifa 1 (C_{el1}): Tarifa com desconto (setor água, esgoto e saneamento): R\$ 0,27462/KWh (anexo 4);

Tarifa 2 (C_{el2}): Tarifa Média (categoria A4): R\$ 0,27567/KWh (anexo 5);

Tarifa 3 (C_{el3}): Tarifa Comercial (subgrupo B3): R\$ 0,32308/KWh (anexo 4);

Inversor de frequência WEG CFW 7,5 cv = R\$ 2.100,00 (fonte : consulta verbal com o fabricante WEG).

Considerando neste caso “ ” o número de horas de funcionamento do sistema e que cada ponto de operação é operado durante 20% do tempo (0,2h), encontra-se através da tabela 6 a energia economizada (E_{econ}) através da seguinte relação:

$$E_{econ} = 0,2h \cdot \sum_1^5 Pe_{ei} - Pe_{ei}'$$

$$E_{econ} = 0,2h \cdot 6,35 \text{ [KWh]}$$

$$E_{econ} = 1,27h \text{ [KWh]}$$

Através da relação abaixo entre custo da energia elétrica (C_{el}) e da energia economizada (E_{econ}), juntamente com um fator de custo de instalação considerado de 30%, encontram-se três valores distintos para quantidade de horas necessárias (h_1 , h_2 e h_3) de operação para que o Pay-back seja atingido:

economia = preço inversor . custo instalação

$$E_{\text{econ}} \cdot C_{\text{el}} = 2100.1,3$$

$$1,27h \cdot C_{\text{el}} = 2100.1,3$$

- Para $C_{\text{el1}} = \text{R\$ } 0,27462/\text{KWh} \Rightarrow h_1 = 7828$ horas
- Para $C_{\text{el2}} = \text{R\$ } 0,27567/\text{KWh} \Rightarrow h_2 = 7798$ horas
- Para $C_{\text{el3}} = \text{R\$ } 0,32308/\text{KWh} \Rightarrow h_3 = 6653$ horas

Considerando uma operação do sistema de 2500 horas/ano, encontram-se 3 diferentes valores de Pay-back (Pb);

$Pb_1 = 3$ anos e 2 meses

$Pb_2 = 3$ anos e 2 mes

$Pb_3 = 2$ anos e 8 meses

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho comparou-se o gasto energético em sistemas de bombeamento com vazão variável, quando o mesmo opera através de um inversor de frequência e quando opera através do controle da vazão feito por válvulas.

O cálculo do Pay-back resultou em um tempo médio de aproximadamente 3 anos quando considerado os 3 valores distintos de tarifa, o que se mostra muito atrativo em um equipamento, que segundo a PROCEL (2005) pode alcançar uma vida útil de até 20 anos quando operado em condições ideais.

Nos dias atuais onde o mercado se mostra muito competitivo e equilibrado, todas as formas possíveis de diminuição dos gastos durante o processo de fabricação de um determinado produto deve ser considerado e adotado como sendo parte da política de uma empresa, afim de tornar o seu produto ainda mais competitivo no mercado de trabalho.

Importante ressaltar também a questão ambiental, pois todas as formas de produção de energia elétrica afetam o meio ambiente de alguma maneira, tornando assim o implemento de tal dispositivo viável também no ponto de vista ambiental.

REFERÊNCIAS

EDP BANDEIRANTE. Resolução Homologatória nº 1.222, 18/10/2011

ELETOBRAS; PROCEL. **Avaliação dos resultados do Procel 2005**. Rio de Janeiro, 2006. 168 p.

EUROPUMP AND HYDRAULIC INSTITUTE. **Variable Speed Pumping**: Elsevier Science, 2004. 170p.

GARCIA, A. G. P. **Impacto da Lei de Eficiência Energética para Motores Elétricos no Potencial de Conservação de Energia na Indústria**. 2003. 127 p. Dissertação (Mestrado).

KAYA, Dumus. et al. **Energy Efficiency in pumps**. Turquia: Elsevier, 2008. 12p.

KSB. Manual Técnico Megachem. Nº A2740.0P/5, 2005. 22p.

MOREIRA, Saulo Gomes. **Estratégias de simulação para análise da eficiência energética em sistema de bombeamento monitorado via supervisor**. 2008. 106p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.

OMEL Bombas e Compressores Ltda: Curva do Sistema. Disponível em: <http://http://omel.com.br/BR/escola__bombas_curvas_de_desempenho.php>. Acesso em: 19 set. 2013.

PEMBERTON, Mike. **Variable Speed Pumping myths and legends**. USA. 2005. 24p.

SCHNEIDER. Manual técnico. Disponível em: <http://www.irricomrio.com.br/calculos_hidraulicos/Calculodeperdasdecarga.pdf>. Acesso em: 19 set. 2013.

SILVA, Marcos Antônio. **Manual de Treinamento KSB: Seleção e Aplicação de Bombas Centrífugas**. 2003. 214p.

WEG. Catálogo Técnico Motor Elétrico Trifásico W22. 52p. Disponível em: <<http://www.weg.com.br>>. Acesso em: 15 ago. 2013.

WEG. Catálogo Inversor de frequência CFW11. 20p. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw-11-completo-10510201-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2013.

WEG. Motores de Indução alimentados por inversores de frequência PWM. 36p. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-de-inducao-alimentados-por-inversores-de-frequencia-pwm-027-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acesso em 29/10/2013.

WEG. Tabela elétrica motores WEG. <http://ecatalog.weg.net/TEC_CAT/tech_motor_sel_web.asp?cd_produto=1529&CD_CATEGORIA_PRODUTO=6&cd_mercado=000B&cd_idioma_cat=PT&cd_empresa=110#>

WOOD, D. J., REDDY, L. S. **Control de bombas de velocidad variable y modelos en tiempo extensivo para minimizar fugas e costes energéticos**. Valência - Espanha, 1994.

ANEXO A – Métodos do comprimento equivalente

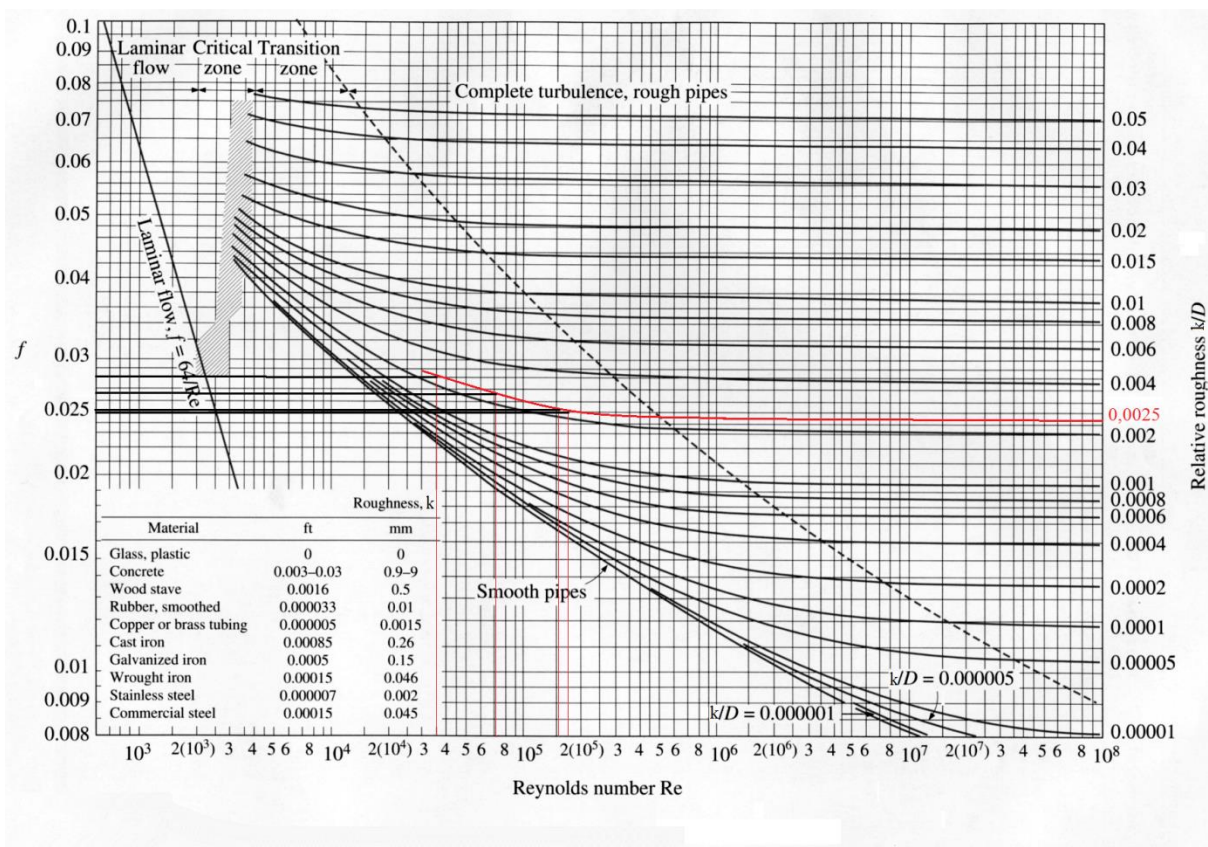
(Fonte: SILVA, 2003)

Comprimntos equivalentes a perdas localizadas. (Expressos em metros de canalização retínea)*

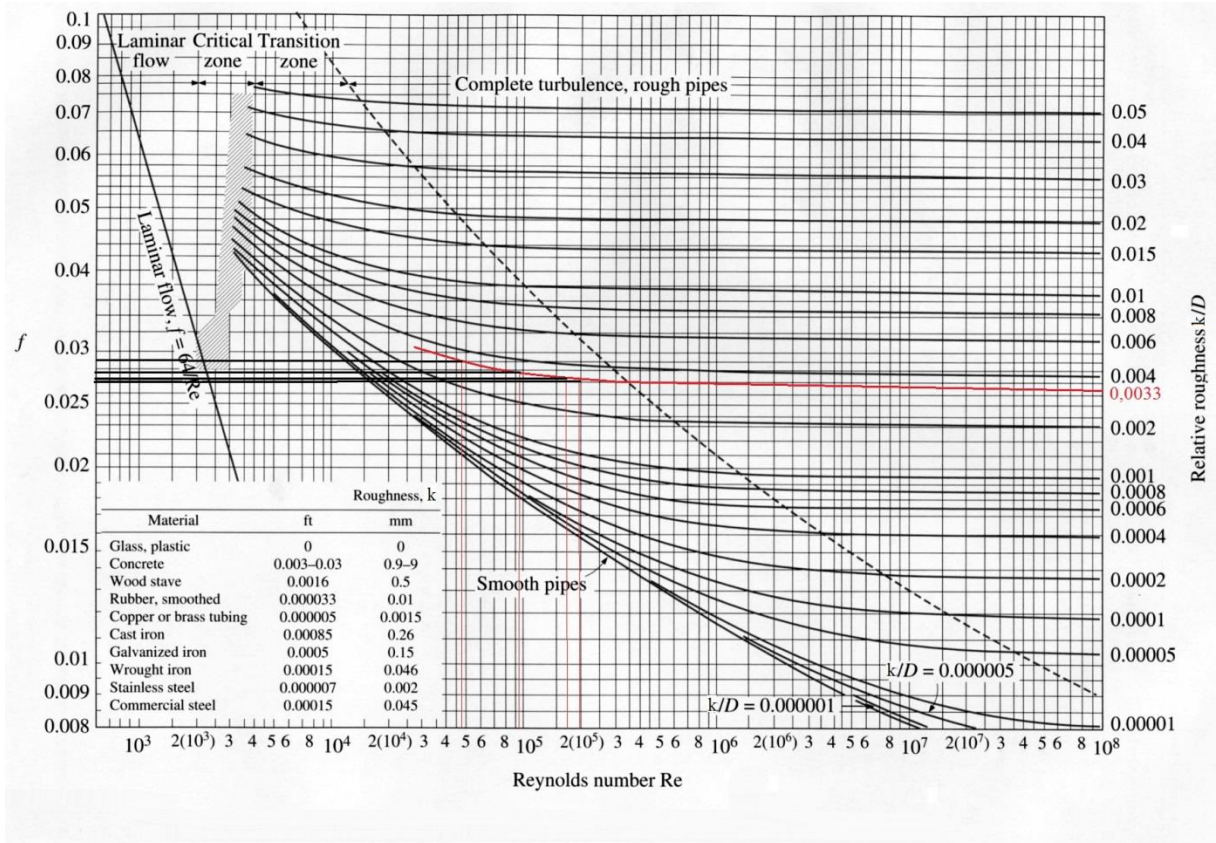
DIÂMETRO D	Comprimntos equivalentes a perdas localizadas. (Expressos em metros de canalização retínea)*																				
	mm	pol.	COTVELO 90° RAIO LONGO	COTVELO 90° RAIO MÉDIO	COTVELO 90° RAIO CURTO	COTVELO 45°	CURVA 90° R/D - 1/2	CURVA 90° R/D - 1	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	REGISTRO DE GAVETA ABERTO	REGISTRO DE GLOBO ABERTO	REGISTRO DE ÂNGULO ABERTO	TÉ PASSAGEM DIRETA	TÉ SAIDA DE LADO	TÉ SAIDA BILATERAL	VÁLVULA DE PÉ CRIVO	SAIDA DA CANALIZAÇÃO	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO LEVE	VÁLVULA DE RETENÇÃO TIPO PESADO
13	½	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	¾	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1¼	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1½	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2½	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,3	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	8,4	12,9
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

* Os valores indicados para registros de globo, aplicam-se também às torneiras, válvulas para chuveiros e válvulas de descarga.

ANEXO B – Diagrama de Moody para a sucção



ANEXO C – Diagrama de Moody para a descarga



ANEXO D – Tarifa energia elétrica (EDP Bandeirante)

Outubro 2011



TARIFAS PARA O FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

Resolução Homologatória nº 1.222 de 18/10/2011, Prorroga a vigência das Tarifas de EE e TUSD, anexos I e II Res.Hom. 1072 de 05.10.2010
Válida para as Leituras a partir de 23/10/2011, somente para serviços cobráveis (taxas)

MÉDIA e ALTA TENSÃO	GRUPO "A"									
	SUBGRUPO A3a SUBTERRÂNEO		SUBGRUPO A1 (230 KV ou mais)		SUBGRUPO A2 (88 KV a 138 KV)		SUBGRUPO A1 (2,3 KV a 25 KV)		SUBGRUPO A1* (2,3 KV a 25 KV)	
	DEMANDA R\$/KW	CONSUMO R\$/MWh	DEMANDA R\$/KW	CONSUMO R\$/MWh	DEMANDA R\$/KW	CONSUMO R\$/MWh	DEMANDA R\$/KW	CONSUMO R\$/MWh	DEMANDA R\$/KW	CONSUMO R\$/MWh
TARIFA CONVENCIONAL	20,82	161,09					29,35	161,09	29,35	161,09
ULTRAPASSAGEM	62,46						88,05		88,05	
TARIFA HORO-SAZONAL AZUL										
PONTA SECA	22,45	250,73	0,00	0,00	19,12	250,73	30,56	250,73	30,56	250,73
PONTA ÚMIDA	22,45	227,39	0,00	0,00	19,12	227,39	30,56	227,39	30,56	227,39
FORA DE PONTA SECA	4,66	158,84	0,00	0,00	2,56	158,84	7,35	158,84	7,35	158,84
FORA DE PONTA ÚMIDA	4,66	145,30	0,00	0,00	2,56	145,30	7,35	145,30	7,35	145,30
ULTRAPASSAGEM										
PONTA SECA / ÚMIDA	67,35		0,00		57,36		91,68		91,68	
FORA DE PONTA SECA / ÚMIDA	13,98		0,00		7,68		22,05		22,05	
VERDE										
PONTA SECA	4,66	771,96					7,35	960,43	7,35	960,43
PONTA ÚMIDA	4,66	748,62					7,35	937,09	7,35	937,09
FORA DE PONTA SECA	4,66	158,84					7,35	158,84	7,35	158,84
FORA DE PONTA ÚMIDA	4,66	145,30					7,35	145,30	7,35	145,30
ULTRAPASSAGEM										
SECA / ÚMIDA	13,98				-	-	22,05		22,05	
TARIFA DE EMERGÊNCIA AUTOPRODUTOR	DEMANDA R\$/KW - ANO	CONSUMO R\$/MWh	DESCONTOS - GRUPO "A" (Portaria No 105 de 03/04/1992)							
A2 HORO-SAZONAL AZUL			DESCONTOS (Exceto nas Tarifas de Ultrapassagem)				DESCONTOS ESPECIAIS			
TARIFA DE COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL	DEMANDA KW	CONSUMO MWh	Rural				Água, Esgoto e Saneamento			
A4 (2,3 KV a 25KV)	0	0	- 10%				- 15%			

BAIXA TENSÃO													
GRUPO "B"											TARIFA da HORA		
TARIFA CONVENCIONAL													
SUBGRUPO B1					SUBGRUPO B2		SUBGRUPO B3		SUBGRUPO B4		TARIFA da HORA		
RESIDENCIAL					RURAL		DEMAIS CLASSES		ILUMINAÇÃO PÚBLICA		PONTA		
RESIDENCIAL BAIXA RENDA											FORA de PONTA		
Até 30 Kwh		De 31 a 100		De 101 a 220		Acima de 220							
R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/MWh	R\$/MWh
325,37	106,53	182,63	273,96	304,37		202,52	323,08	166,43	182,70	578,5	253,14		
TARIFAS													
SUBGRUPO B3					SUBGRUPO B2		SUBGRUPO B2		SUBGRUPO B2		SUBGRUPO B2		
COM DESCONTOS					Água, Esgoto e Saneamento		Coop. Eletrificação Rural		Serviço Público de Irrigação		186,22		
Desconto Especial: Rural Irrigação e Cooperativa de Eletrificação Rural Irrigada = 60% - Portaria Nº 105, de 03/04/92													

VALORES MÍNIMOS MENSAIS														
FORNECIMENTO MÍNIMO		SUBGRUPO B1				SUBGRUPO B2		SUBGRUPO B3		SUBGRUPO B4		TARIFA da HORA		
		RESID. BAIXA RENDA				RESIDENCIAL				B4a		B4b		
CIRCUITO MONOFÁSICO	30 kWh	R\$3,20				R\$9,76	R\$6,08	R\$9,69	R\$4,99	R\$5,48	R\$9,76			
CIRCUITO BIFÁSICO	50 kWh					R\$16,27	R\$10,13	R\$16,15	R\$8,32	R\$9,14	R\$16,27			
CIRCUITO TRIFÁSICO	100 kWh					R\$32,54	R\$20,25	R\$32,31	R\$16,64	R\$18,27	R\$32,54			

TARIFA FISCAL											
ICMS											
CÁLCULO DO ICMS											
R\$ 64,48 / MWh		$ICMS = (Consumo + PIS/PASEP + COFINS) \cdot \left(\frac{1}{1-X} \right) - 1$									
Portaria DNEEE nº 02, de 04/01/1996 (D.O.U. de 05/01/1996)		Residencial até 90 kWh ** - ISENTO ** Residencial de 91 a 200 kWh - 12% Residencial acima de 200 kWh - 25% RURAL (com nº de inscrição da Secretaria da Fazenda) - ISENTO RURAL (sem nº de inscrição da Secretaria da Fazenda) - 18% Tração Elétrica - 12% Demais Classes - 18%									
Onde: Consumo = valores em reais PIS/PASEP e COFINS = valores em reais X = Alíquota referente a classe do cliente											

TAXAS DIVERSAS (RESOLUÇÃO Nº 1.222 DE 23/10/2011)	MONOFÁSICO GRUPO B	BIFÁSICO GRUPO B	TRIFÁSICO GRUPO B	GRUPO A
VISTORIA	4,52	6,48	12,95	38,89
AFERIÇÃO DE MEDIDOR	5,83	9,71	12,95	64,83
VERIFICAÇÃO NÍVEL DE TENSÃO	5,83	9,71	11,66	64,83
RELIGAÇÃO NORMAL	5,17	7,12	21,38	64,83
RELIGAÇÃO DE URGÊNCIA	25,92	38,89	64,83	129,67
2ª VIA DE CONTA	1,93	1,93	1,93	3,88
2ª VIA DE DECLARAÇÃO DE QUITAÇÃO	1,87	1,87	1,87	3,76
DISPONIBILIZAÇÃO DADOS DA MEDIÇÃO	4,52	6,48	12,95	38,89
DESLIGAMENTO OU REL. PROGRAMADA	25,92	38,89	64,83	129,67
FORNECIMENTO DE PULSOS	4,52	6,48	12,95	38,89
COMISSIONAMENTO DE OBRAS	13,14	18,81	37,62	112,97
VISITA TÉCNICA	4,52	6,48	12,95	38,89
CUSTO ADMINISTRATIVO DE INSPEÇÃO	74,60	111,92	186,59	2487,66

Notas: * Tarifas para Clientes das Classes Residencial e Rural - Decreto nº 4.359, de 05/09/2002.
** Decreto Estadual nº 50.473 de 20/01/2006 - Válida para as leituras a partir de 01/02/06

São Paulo, 23 de outubro de 2011

OLGA NAOMI
GESTORA EXECUTIVA DE RELACIONAMENTO COM O CLIENTE

Horas totais em um ano: 365 dias x 24 horas = 8760 horas/ano

Horas totais anuais no horário de ponta: 22 dias úteis/mês x 12mês/ano x 3 horas/dia = 792 horas ponta/ano

Horas totais fora de ponta: 8760 – 792 = 7968 horas fora de ponta/ano

Demanda ponta, seca/úmida: R\$ 30,56 /KW (anexo 4);

Demanda fora de ponta, seca/úmida: R\$ 7,35/KW (anexo 4);

Consumo ponta, seca: R\$ 250,73/MWh (anexo 4);

Consumo ponta, úmida: R\$ 227,39/MWh(anexo 4);

Média consumo ponta: [(7 meses seco x 250,73) + (5 meses úmido x 227,39)] /12 = R\$ 241,01/MWh

Consumo fora de ponta, seca: R\$ 158,84/MWh (anexo 4);

Consumo fora de ponta, úmida: R\$ 145,30/MWh (anexo 4);

Média consumo fora de ponta: [(7 meses seco x 158,84) + (5 meses úmido x 145,30)] = R\$ 153,20/MWh

Para uma demanda de 1000KW têm-se que:

Consumo ponta(KWh/ano): 792 horas ponta x 0,8 (fator carga) x 1000KW= 633600 (KWh/ano);

Consumo ponta (R\$/ano): 633600 x 0,24101 = R\$ 152.700,77

Consumo fora de ponta(KWh/ano): 7.968 horas ponta x 0,8 (fator carga) x 1000KW= 6.374.400 (KWh/ano);

Consumo fora de ponta (R\$/ano): 6.374.400 x 0,15320 = R\$ 976.547,46

Consumo anual: R\$ 152.700,77 + R\$ 976.547,46 = **R\$ 1.129.248,22**

Demanda ponta (R\$/ano): R\$ 30,56/KW x 1000KW x 12 meses= R\$ 366.720,00/ano

Demanda fora de ponta (R\$/ano): $R\$ 7,35/KW \times 1000KW \times 12 \text{ meses} = R\$ 88.200,00/\text{ano}$

Demanda anual (R\$): $R\$ 366.720,00 + R\$ 88.200,00 = R\$ 454.920,00$

Total anual: **Consumo anual + Demanda anual**

Total anual: $R\$ 1.129.248,22 + R\$ 454.920,00 = R\$ 1.584.168,22$

Total anual com ICMS: $R\$ 1.584.168,22 / 0,82 = R\$ 1.931.912,47$

Tarifa Média (R\$/KWh com ICMS): $R\$ 1.931.912,47 / (633.600,00 + 6.374.400,00) \text{ KWh/ano}$

Tarifa Média (R\$/KWh com ICMS): R\$ 0,27567 KWh