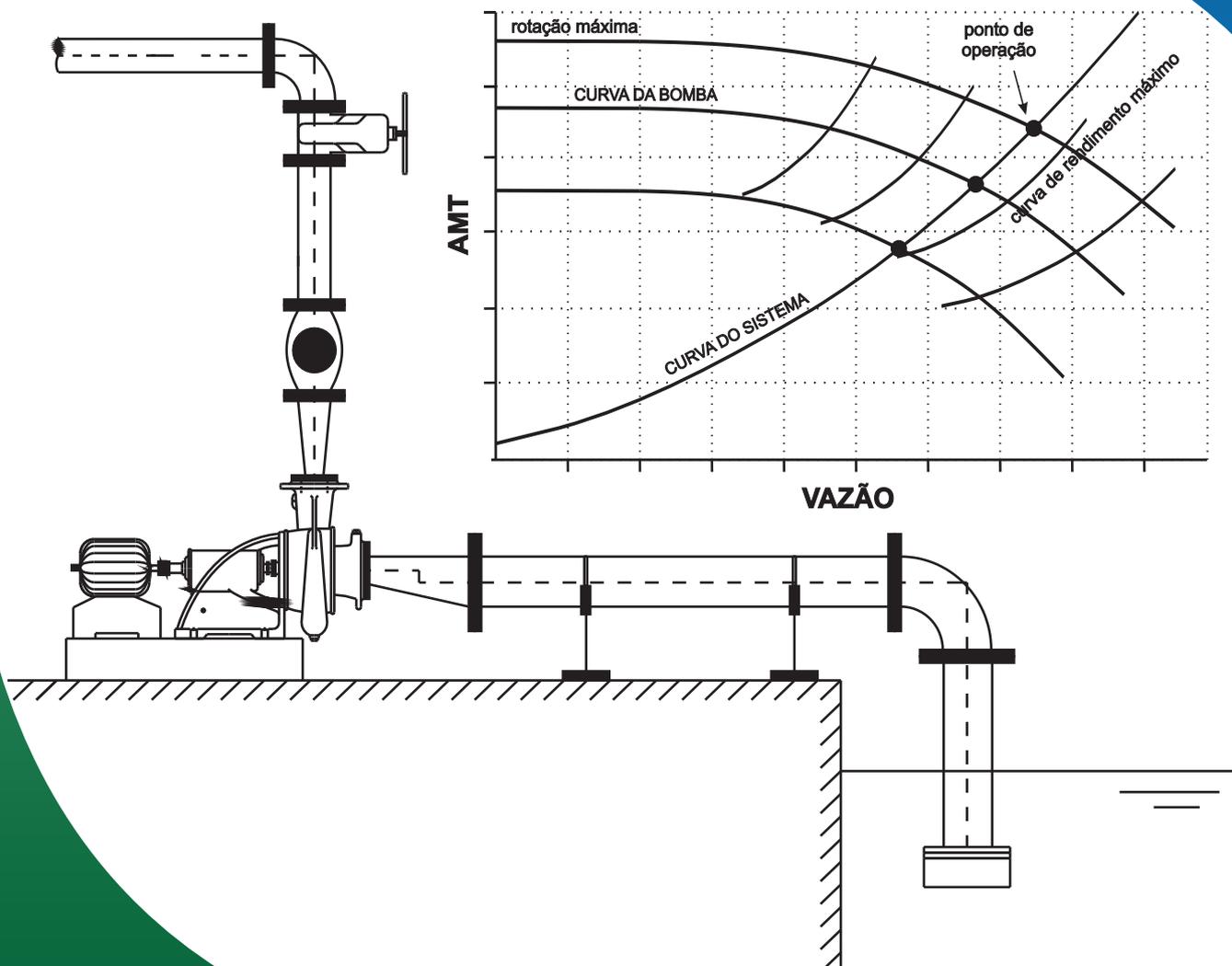




MANUAL DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA



HEBER PIMENTEL GOMES
PAULO SERGIO O. DE CARVALHO
organizadores

APRESENTAÇÃO

O uso racional da água e da energia no setor produtivo é um requisito indispensável para o desenvolvimento econômico e social no mundo contemporâneo, pela necessidade imperativa da preservação do meio ambiente e da minimização dos custos operacionais. Estes insumos são cada vez mais escassos e, por conseguinte, mais caros, onerando, significativamente, os custos de produção no setor industrial. O setor de saneamento, que engloba a indústria de produção de água potável é, talvez, o mais estratégico no que diz respeito ao uso conjunto de água e energia e, portanto, merecedor de uma atenção especial, no tocante à racionalidade da utilização destes insumos.

Os sistemas de abastecimento e de esgotamento sanitário são responsáveis por, aproximadamente, 3% da energia consumida no mundo. No Brasil a situação não é diferente e, de acordo com dados do Programa Nacional de Conservação de Energia para o setor de saneamento – Procel Sanear –, entre 2 e 3% do consumo total de energia elétrica no nosso país, o equivalente a cerca de 10 bilhões de kWh/ano, são consumidos por prestadoras de serviços de água e esgotamento sanitário. Este consumo refere-se aos diversos usos nos processos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, com destaque para os equipamentos motobomba das estações elevatórias, que são responsáveis por 90% da energia consumida. Parte significativa da energia gasta nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário se deve à ineficiência destes sistemas. Atualmente, no mundo, em média, 25% da energia gasta nestes sistemas se deve à ineficiência energética. Esta ineficiência é derivada do emprego de equipamentos de bombeamento de baixo rendimento (obsoletos, antigos ou mal dimensionados), do excesso de perda de carga hidráulica nas linhas adutoras e nas tubulações das redes de abastecimento, da ausência de manutenção, das perdas reais de água, de procedimentos operacionais inadequados, dentre outros fatores.

Nos últimos anos, em virtude, principalmente, da repercussão do custo energético na operação dos sistemas de abastecimento, as empresas prestadoras de serviços de saneamento estão buscando adotar medidas para aumentar a eficiência energética e, conseqüentemente, diminuir seus custos operacionais. O combate à diminuição do excesso do consumo de energia, sem que haja comprometimento da qualidade do serviço de abastecimento, depende de um conjunto de ações nas áreas das engenharias hidráulica, mecânica e elétrica. De uma maneira geral, os diagnósticos e as ações de engenharia voltadas para solucionar os problemas da ineficiência energética em sistemas de bombeamento não são realizados por uma equipe multidisciplinar, que envolva profissionais com domínios técnicos nos campos da hidráulica, da mecânica e da elétrica. A falta de uma inter-relação entre os ramos das engenharias, antes apontados, tem dificultado, consideravelmente, os diagnósticos e as ações de combate às perdas de energia em sistemas de bombeamento voltados para o abastecimento de água e esgotamento sanitário.

O presente Manual tem como objetivo proporcionar aos técnicos e engenheiros da área de saneamento, ensinamentos necessários à adoção de medidas que proporcionem o aumento da eficiência energética dos sistemas de abastecimento e de esgotamento sanitário. É um material prático que complementa o conteúdo do livro Sistemas de Bombeamento: Eficiência Energética, publicado pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica da UFPB, em 2009, com o apoio da Eletrobras.

As informações contidas neste Manual são as mais atualizadas possíveis e essencialmente práticas. O material é dividido em cinco capítulos: os três primeiros tratam de informações básicas sobre bombas e instalações elevatórias, sobre motores elétricos e dispositivos de comando e proteção e sobre medidores de grandezas hidráulicas e elétricas e válvulas de controle. As informações contidas nestes capítulos iniciais são necessárias aos diagnósticos e procedimentos básicos, para a adoção de ações de eficiência energética a serem implantadas nos sistemas de saneamento e que são abordados nos capítulos quatro e cinco.

Esta edição foi elaborada com apoio financeiro da ELETROBRAS (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.), no âmbito do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica para o setor de saneamento (Procel Sanear - Eficiência Energética no Saneamento Ambiental).

Heber Pimentel Gomes

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - Bombas e Instalações Elevatórias	11
1.1 Introdução	11
1.2 Mecânica dos Fluidos e Hidráulica	11
1.2.1 Viscosidade	12
1.2.2 Outras Propriedades	12
1.2.3 Equação Fundamental da Estática dos Fluidos	13
1.2.3.1 Unidades para Medidas de Pressão	13
1.2.3.2 Escalas e Medidores de Pressão	13
1.2.4 Escoamentos de Fluidos – Conceitos Fundamentais	14
1.2.5 Equação da Continuidade	16
1.2.6 Equação de Bernoulli e da Energia	17
1.2.7 Perdas de Carga	18
1.3 Classificação e Descrição das Bombas	22
1.3.1 Bombas Volumétricas	22
1.3.2 Bombas Cinéticas ou Turbobombas	24
1.3.3 Tipos de Rotores	24
1.3.4 Classificação das Turbobombas	25
1.4 Alturas Geométrica e Manométrica, Potências, Rendimentos e Perdas	27
1.5 Curvas Características das Bombas - Ensaio de Bombas	32
1.5.1 Curva Característica Principal	32
1.5.2 Tipos de Curva Característica Principal	33
1.5.3 Curvas Características	33
1.5.4 Ensaio de Bombas	35
1.6 Curvas do Sistema e Ponto de Trabalho	37
1.7 Relações entre as Grandezas Características das Bombas	38
1.7.1 Leis de Similaridade para Bombas	39
1.7.2 Parábolas de Isorrendimento	39
1.7.2.1 Parábolas de Isorrendimento para Rotações Diferentes	40
1.7.2.2 Parábolas de Isorrendimento para Diâmetros do Rotor Diferentes	41
1.7.3 Rotação Específica	42
1.7.4 Velocidade Específica	42
1.8 Altura de Aspiração, Cavitação e NPSH	44
1.8.1 Altura de Aspiração	44
1.8.2 Cavitação	46
1.8.3 NPSH	47
1.8.4 O Coeficiente de Thoma	48
1.9 Associação de Bombas	49
1.9.1 Associação em Paralelo	49
1.9.2 Associação em Série	51
CAPÍTULO 2 - Motores Elétricos e Dispositivos de Comando e Proteção	53
2.1 Introdução	53
2.2 Principais Características de Operação dos Motores de Indução Trifásica	54
2.2.1 Potência Nominal	54

2.2.2	Fator de Serviço	54
2.2.3	Tensão Nominal	54
2.2.4	Corrente Nominal	54
2.2.5	Frequência Nominal	55
2.2.6	Conjugado Nominal	55
2.2.7	Escorregamento Nominal	55
2.2.8	Características Eletromecânicas	55
2.3	Aspectos Térmicos	59
2.4	Placa de Identificação do Motor Elétrico	60
2.5	Regimes de Serviços Normalizados	61
2.6	Seleção da Potência do Motor Elétrico	61
2.7	Partida de Motores de Indução Trifásicos	62
2.7.1	Partida com Tensão Plena	62
2.7.2	Partida com Tensão Reduzida	63
2.8	Acionamento por Meio de Dispositivos Estáticos	65
2.8.1	Chave de Partida <i>Soft-Starter</i>	65
2.8.2	Conversor de Frequência	66
2.8.3	Seleção e Configuração de Chaves <i>Soft-Starter</i> e Conversores de Frequência WEG	67
2.9	Dispositivos de Proteção e Manobra	73
2.9.1	Contator	74
2.9.2	Fusível	74
2.9.3	Relés Bimetálicos de Sobrecarga para Contatores	76
2.9.4	Disjuntores de Baixa Tensão	77
2.10	Seleção de Dispositivos de Proteção e Manobra	77
2.10.1	Partida de Motores Elétricos de Indução com Tensão Plena Seleção do Contator	78
2.10.2	Partida de Motores Elétricos de Indução com Chave Estrela-Triângulo	78
2.10.3	Partida com Chave Compensadora (Autotransformador)	79
2.10.4	Disjuntores de Baixa Tensão	79
2.10.5	Chave <i>Soft-Starter</i>	80
2.10.6	Conversor de Frequência	81
CAPÍTULO 3 - Medidores de Grandezas Hidráulicas e Elétricas e Válvulas de Controle		83
3.1	Medidores de Vazão Portáteis	84
3.2	Medidores de Vazão Permanentes	104
3.3	Medidores de Pressão	112
3.4	Medidores de Grandezas Elétricas	117
3.5	Válvulas de Controle	119
CAPÍTULO 4 - Ações de Eficiência Energética		129
4.1	Ações para a Diminuição do Consumo de Energia Elétrica	130
4.2	Diminuição da Potência dos Equipamentos	131
4.2.1	Substituição dos Motores e/ou Bombas das Estações Elevatórias	131
4.2.2	Redução na Altura Manométrica	132

4.2.3	Redução no Volume de Água Fornecido	133
4.3	Controle Operacional	139
4.3.1	Utilização de Bombas com Velocidade Variável - Conversores de Frequência	139
4.3.2	Alteração nos Procedimentos Operacionais de ETA	140
CAPÍTULO 5 - Diagnóstico Hidroenergético		141
5.1	Planejamento e Recomendações para Levantamentos de Campo em Sistemas de Bombeamento	141
5.1.1	Lista de Providências	141
5.1.2	Planejamento das Medições	143
5.1.3	Curva do Sistema e do NPSH Disponível	150
5.1.4	Variáveis a Serem Medidas	150
5.1.5	Rendimento dos conjuntos motobomba	153
5.1.6	Formas de Medição das Grandezas Elétricas	154
5.1.7	Condições Desejáveis para a Realização de Medições	155
5.1.8	Recomendações para Campanhas de Medições Elétricas	158
5.1.9	Recomendações para Campanhas de Medições Hidráulicas	159
5.2	Ensaio de Campo em Sistemas de Bombeamento	160
5.2.1	Levantamento em Campo de Curvas Características de Bombas	161
5.2.2	Passo a Passo do Levantamento de Dados	163
5.2.3	Alimentando o Modelo de Cálculo das Curvas Características	164
5.2.4	Levantamento em Campo do Desempenho das Associações de Bombas	167
5.2.5	Levantamento em Campo do Coeficiente C de Hazen-Williams	170
5.3	Problemas Frequentes em Sistemas de Bombeamento	174
5.3.1	Falhas de Projeto, Construção ou Montagem	174
5.3.2	Causas Comuns de Defeitos em Motores Elétricos	180
5.3.3	Causas Comuns de Defeitos em Bombas Centrífugas	181
ANEXO A – Unidade de Medidas		183
BIBLIOGRAFIA		187