

SUMÁRIO

Prefácio	V
Convenções para Denominações	VII
Apresentação	IX

PRIMEIRA PARTE

Bombas Hidráulicas com Rotores Radiais

Capítulo 1	25
Introdução	25
1.1 Etapas para o Projeto	25
1.2 Elementos para o Projeto	26
Capítulo 2	29
Considerações sobre o Dimensionamento de BHR	29
2.1 Escoamento do Fluido no Rotor Sem Atrito, Infinitas Pás, Infinitamente Próximas	29
2.1.1 Trabalho específico do fluido consumido pelo rotor e altura de elevação correspondente	30

2.1.2	Volume de fluido em escoamento pelo rotor -----	30
2.1.3	Geometria e número de pás -----	31
2.2	Escoamento no Rotor Sem Atrito e Número Finito de Pás de Espessura Finita -----	31
2.2.1	Trabalho específico do fluido consumido pelo rotor e altura de elevação correspondente -----	31
2.2.2	Coeficientes de estrangulamento para as arestas de entrada e saída -----	32
2.3	Escoamento com Atrito no Rotor e na Carcaça, Número Finito de Pás de Espessura Finita, com Fugas -----	33
2.3.1	Trabalho Específico consumido e Altura de Elevação Correspondente considerando o Rendimento Interno em toda a BHR -----	33
2.3.2	Volume de fluido em escoamento pelo rotor e rendimento de fuga -----	33
2.4	Particularidades que podem ser Utilizadas em Pré- dimensionamento de BHR -----	33
2.4.1	Trabalho específico consumido e altura de elevação --	33
2.4.2	Rendimento Interno -----	35
2.4.3	Perda de energia no injetor da entrada e difusor da saída -----	35
2.4.4	Traçado da Espiral e Perda de Energia -----	36
2.4.5	Perda de energia no rotor e no distribuidor -----	37
2.4.6	Perda de energia nas transições -----	38
2.4.7	Perda de potência por atrito lateral-----	38
2.4.8	Perda de vazão por fuga nos labirintos e furos -----	38

2.4.8.1 Labirintos -----	39
2.4.8.2 Furos -----	40
Capítulo 3 -----	41
Potência e Diâmetro do Eixo -----	41
Capítulo 4 -----	43
Altura de Sucção NPSH -----	43
Capítulo 5 -----	45
Coefficientes Adimensionais e seus valores utilizados no dimensionamento preliminar de rotores de BHR -----	45
5.1 Coeficiente de Pressão -----	45
5.2 Coeficiente de Diâmetro -----	46
Capítulo 6 -----	47
Métodos para o traçado da projeção horizontal da linha de corrente média do escoamento no rotor -----	47
6.1 Método Analítico com Variação Linear de $\tan\beta$ -----	47
6.2 Método Gráfico com Arcos de Circunferências -----	48
Capítulo 7 -----	51
Algoritmo para Pré-Dimensionamento Hidrodinâmico de BHR -----	51
7.1 Considerações -----	51

10.2.1	Projeção de pá do rotor de simples curvatura rebatida no plano vertical e projeto preliminar de corte longitudinal no rotor -----	69
10.2.2	Projeção das pás do rotor de simples curvatura no plano horizontal -----	71
10.3	Pás de Dupla Curvatura - $125 \leq n_{qA} < 162$ -----	71
10.3.1	Projeção de pá do rotor de dupla curvatura rebatida no plano vertical -----	71
10.3.2	Projeção das pás do rotor de dupla curvatura no plano horizontal -----	76
10.4	Pás Diagonais - $162 \leq n_{qA} \leq 350$ -----	77
10.4.1	Projeção de pá diagonal do rotor rebatida no plano vertical -----	77
10.4.2	Projeção das pás diagonais do rotor no plano horizontal -----	85
Capítulo 11	-----	87
Fabricação do Modelo ou Molde das Pás e do Rotor	-----	87
11.1	Ajuste das Projeções -----	87
11.2	Fabricação do Modelo ou Molde da Pá e do Rotor -----	89
11.2.1	Comentários -----	89
11.2.2	Método das coordenadas -----	90

Capítulo 12	91
Aplicação	91
12.1 BHR com $20 \leq n_{qA} < 125$	91
12.1.1 Pré-dimensionamento hidrodinâmico	91
12.1.2 Desenhos básicos	92
12.1.3 Labirintos	93
12.1.4 Furos	93
12.1.5 Desenhos complementares	93
12.1.6 Empuxo Axial	94
12.1.7 Perdas de Energia e Rendimento Interno	95
12.2 BHR com $125 \leq n_{qA} < 162$	96
12.2.1 Pré-dimensionamento hidrodinâmico	96
12.2.2 Desenhos básicos	97
12.2.3 Coordenadas da superfície média da pá	99
12.2.4 Observações e comentários	99
12.3 BHR com $162 \leq n_{qA} \leq 350$	100
12.3.1 Pré-dimensionamento hidrodinâmico	100
12.3.2 Desenhos básicos	101
12.3.3 Desenhos complementares	107
12.3.4 Considerações	108
 Capítulo 13	 109
Análise e Comentários	109

SEGUNDA PARTE***Bombas Hidráulicas com Rotores Axiais***

Capítulo 1	115
Introdução	115
1.1 Etapas para o Projeto	115
1.2 Elementos para o Projeto	116
Capítulo 2	121
Considerações sobre o Dimensionamento de BHA	121
2.1 Trabalho Específico Teórico consumido pelo Rotor e Altura de Elevação Correspondente	121
2.2 Vazão em Escoamento pelo Rotor	123
2.3 Geometria	123
2.4 Escoamento da Água no Rotor Sem Atrito e Pás com Espessura Finita	123
2.5 Trabalho Específico consumido e Altura de Elevação Correspondente considerando o Rendimento Interno da BHA	124
2.6 Volume de Água em Escoamento pelo Rotor, Rendimento de Fuga e Labirinto	125
2.6.1 Volume de Água em Escoamento pelo Rotor e Rendimento de Fuga	125
2.6.2 Labirinto	125
2.6.3 Algoritmo para Cálculo do Labirinto	126

2.6.3.1	Dados de Entrada	126
2.6.3.2	Cálculos e Decisões	127
Capítulo 3		129
Limitações do projeto		129
3.1	Potência e Diâmetro do Eixo	129
3.2	Características e Coeficientes	130
3.2.1	Equação de Euler Adimensional	130
3.2.2	Coeficiente de Pressão	130
3.2.3	Mínima Relação de Cubo	130
3.2.4	Outras características e relações	132
3.3	Altura de Sucção, NPSH e Cavitação	133
3.4	Otimização de Perfil Relativamente à Cavitação	135
Capítulo 4		137
Rotor		137
4.1	Grade – Perfil	137
4.2	Características de Perfis	138
4.3	Outras características	143
4.4	Perda de Energia	144
4.5	Empuxo Axial	147
4.5.1	Força do peso das partes girantes	147
4.5.2	Forças de origem hidráulica	148
4.5.3	Resultante	149
4.5.4	Roteiro para cálculo do Empuxo Axial	149

4.6	Algoritmo para Cálculo Hidrodinâmico do Rotor -----	151
4.6.1	Objetivos -----	151
4.6.2	Dados de Entrada -----	151
4.6.3	Cálculos e Decisões -----	152
4.7	Aplicação do Algoritmo para Cálculo Hidrodinâmico do Rotor -----	156
4.7.1	Dados de Entrada -----	157
4.7.2	Cálculos e Decisões -----	157
4.8	Aplicação do Roteiro do Empuxo Axial -----	162
4.8.1	Considerações -----	162
4.8.2	Dados de Entrada -----	162
4.9	Aplicação do Algoritmo para Cálculo do Labirinto -----	165
4.9.1	Dados de Entrada -----	165
4.9.2	Cálculos e Decisões -----	165
4.10	Traçado das Projeções das Pás -----	166
4.10.1	Metodologia -----	166
4.10.2	Roteiro para obtenção gráfica de ponto da linha de pressão ou de sucção do perfil sobre superfície cilíndrica -----	167
4.10.2.1	Dados de Entrada -----	167
4.10.2.2	Roteiro e Decisões -----	167
4.10.3	Algoritmo para obtenção analítica de pontos das linhas de pressão ou de sucção dos perfis sobre superfícies cilíndricas -----	169
4.10.3.1	Equacionamento -----	169

4.10.3.2	Dados de Entrada -----	169
4.10.3.3	Algoritmo -----	169
4.10.4	Equacionamento para obtenção analítica de ponto da linha de pressão ou de sucção do perfil sobre superfície esférica a partir de ponto sobre superfície cilíndrica -----	170
4.10.5	Algoritmo para obtenção analítica dos pontos das linhas de pressão ou de sucção dos perfis sobre superfícies esféricas a partir de pontos respectivos sobre as superfícies cilíndricas -----	170
4.10.5.1	Dados de Entrada -----	170
4.10.5.2	Algoritmo -----	170
4.10.6	Roteiro para o traçado das projeções sobre superfície cilíndrica -----	171
4.10.6.1	Dados de Entrada -----	171
4.10.6.2	Traçado do Rotor Hélice -----	172
4.10.7	Roteiro para o traçado das projeções sobre superfície esférica -----	173
4.10.7.1	Dados de Entrada -----	173
4.10.7.2	Traçado do Rotor Kaplan -----	173
4.11	Aplicação dos Roteiros -----	173
4.11.1	Dados de Entrada -----	173
4.11.2	Cálculos e Decisões -----	175
4.11.3	Traçados -----	176

Capítulo 5	177
Carcaça – Perdas	177
5.1 Comentários	177
5.2 Bocal e Injetor da Entrada	178
5.3 Distribuidor	181
5.3.1 Comentários	181
5.3.2 Perda de Energia	181
5.4 Difusor da Saída	182
Capítulo 6	183
Algoritmos para determinação das Perdas Energéticas ---	183
6.1 Considerações	183
6.2 Algoritmo	183
6.2.1 Dados de Entrada	183
6.2.2 Cálculos e Decisões	184
Capítulo 7	187
Projeto da BHA	187
Capítulo 8	189
Referências Bibliográficas	189
Índice Alfabético Remissivo	191