ENGENHARIA & CIA
EDUCACIONAL

Pós Graduação Lato Sensu

Engenharia de Movimentação de Fluidos e Equipamentos Industriais



Instalações de Bombeamento, para Gases ou Vapor

Uma visão integrada sobre as instalações que movimentam fluidos

Micelli R. Camargo

Instalações de Bombeamento, para Gases e Vapor

Uma visão integrada sobre as instalações que movimentam fluidos.

Micelli Rodrigues Camargo

São Paulo, 15 de junho de 2026

Direitos autorais e edição

© 2026 Micelli Rodrigues Camargo. 1ª edição. São Paulo, Brasil.

Editor/Selo: Edição do Autor (Micelli Camargo) • Engenharia & Cia – Publicações Técnicas.

Esse material foi elaborado para apoio aos alunos da Pós-Graduação Engenharia de Movimentação de Fluidos e Equipamentos Industriais.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução por quaisquer meios sem autorização do detentor dos direitos, exceto nos casos previstos em lei.

[reservado para dados de registro]

Créditos

- ✓ Capa e projeto gráfico: Micelli R. Camargo
- ✓ Revisão técnica: Micelli R. Camargo
- ✓ Diagramação: Micelli R. Camargo

Índice:

APRESENTAÇÃO 16
ORGANIZAÇÃO DA PÓS-GRADUAÇÃO 18
APOIO INSTITUCIONAL 19
OBJETIVOS 20
1. INSTALAÇÃO DE BOMBEAMENTO 21
1.1. Visão Geral da Instalação 21
1.2. Para Que Serve Uma Instalação De Bombeamento 21
1.3. Onde Aparece 22
1.3.1. O Papel Da Bomba 22
1.3.2. Equipamentos Similares Às Bombas 23
1.4. Anatomia de uma Instalação Típica para Líquidos 23
1.4.1. O Lado da Sucção 24
1.4.1.1. Componentes típicos da sucção 24
1.4.2. O Lado da Descarga (Recalque) 26
1.4.2.1. Componentes típicos da descarga 26
1.4.3. Os Acessórios e Instrumentos 27
1.5. Como Cada Componente Afeta o Escoamento 28
1.5.1. O Conceito Prático de Perda de Carga 28
1.5.2. Categorias de Componentes pelo Impacto 28
1.5.3. Curva do Sistema e o Ponto 29
1.6. Particularidades de Instalações para Gases 30
1.6.1. O que tem na instalação de gás 30
1.6.2. Cuidados peculiares em instalações de gás 31
1.7. Particularidades de Instalações para Vapor 32
1.7.1. O Que Tem de Diferente na Instalação de Vapor 33
1.7.2. Cuidados peculiares em instalações de vapor 33
1.8. Comparativo Prático: O Que Tem em Cada Instalação 35
1.9. Critérios de uma Boa Instalação 35
1.9.1. Especificação Correta dos Materiais 35
1.9.2. Dimensionamento da Tubulação 36
1.9.3. Instrumentação para monitoramento contínuo 36
1.9.4. Proteção contra transientes e operação fora da faixa 36
1.9.5. Suportação e Alinhamento Corretos 36
1.9.6. Procedimentos Documentados 36
1.10. Tópicos Complementares 37

1.10.1. Como Ler um Diagrama de Instalação 37
1.10.2. Exemplo 38
1.10.2.1. Lado da Sucção 39
1.10.2.2. Bomba 40
1.10.2.3. Lado da Descarga 40
1.10.2.4. Como o Sistema Opera 41
1.10.2.5. Convenções de Identificação 41
1.10.3. Instalações Modulares (Skid Mounted) 42
1.10.3.1. Vantagens 42
1.10.3.2. Aplicações típicas: 42
1.10.3.3. Limitação: 42
1.10.4. Onde os Tipos de Bomba Entram 42
2. TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS E MATERIAIS 44
2.1. Classificação por Tipo de Fluido e Aplicação 44
2.1.1. Tubulação para Líquidos 44
2.1.2. Tubulação para Gases 44
2.1.2.1. Corrosão seca (high-temperature corrosion): 45
2.1.3. Tubulação para Vapor 45
2.1.3.1. Vapor Saturado: 45
2.1.3.2. Vapor superaquecido ou Vapor Seco: 46
2.1.3.3. Fluência (creep): 46
2.1.4. Tubulação Sanitária 47
2.1.4.1. Acabamento Superficial 48
2.1.4.2. Boas Práticas de Instalação Sanitária 48
2.2. Materiais de Tubulação Industrial 49
2.2.1. Aço Carbono 49
2.2.1.1. Composição e propriedades 49
2.2.1.2. Principais especificações ASTM para tubos de aço carbono 49
2.2.1.3. Limitações do aço carbono 50
2.2.2. Aços-Liga Cromo-Molibdênio (Cr-Mo) 50
2.2.3. Aço Inoxidável 51
2.2.3.1. Classificação microestrutural 51
2.2.3.2. AISI 304 e 304L – Uso geral 52
2.2.3.3. AISI 316 e 316L – Com molibdênio 52
2.2.4. Materiais Plásticos: PVC, CPVC, PP, PVDF e PEAD 54
2.2.4.1. PVC – Cloreto de Polivinila 54

2.2.4.2. CPVC – PVC Clorado 54
2.2.4.3. PP – Polipropileno 54
2.2.4.4. PVDF – Fluoreto de Polivinilideno 55
2.2.4.5. PEAD – Polietileno de Alta Densidade 55
2.2.5. Ligas Especiais e Materiais de Alta Performance 56
2.3. Padrões Dimensionais: Schedule e Normas 56
2.3.1. O Sistema NPS e o Schedule 56
2.3.2. Normas DIN e ISO – Sistema Europeu 58
2.3.3. Tipos de Uniões 59
2.3.3.1. Uniões Flangeadas 59
2.3.3.2. Uniões Soldadas 63
2.3.3.3. Uniões Roscadas 65
2.3.3.4. Conexões Clamp (Sanitárias) 67
2.3.3.5. Acoplamentos Rápidos e Mecânicos 69
2.4. Seleção do Diâmetro de Tubulação 69
2.4.1. Critério de Velocidade Admissível 70
2.4.2. Cálculo do Diâmetro pela Equação da Continuidade 72
2.4.2.1. Exemplo prático 72
2.4.3. Diâmetro Econômico Ótimo 72
2.4.4. Consequências da Escolha Inadequada do Diâmetro 73
3. VÁLVULAS INDUSTRIAIS 74
3.1. Classificação Funcional das Válvulas 74
3.2. Classe de Pressão e Temperatura – ASME B16.34 75
3.2.1. Grupos de Materiais e Pressão × Temperatura 75
3.2.2. Componentes Fundamentais e suas Funções 76
3.2.2.1. Corpo da válvula 76
3.2.2.2. Castelo ou Bonnet 76
3.2.2.3. Mecanismo de Abertura e Fechamento e de vedação 77
3.2.2.4. Vedações da haste 77
3.2.2.5. Extremidades ou Conexões 78
3.2.2.6. Meios de Operação das Válvulas 79
3.2.2.7. By Pass 80
3.2.2.8. Materiais de Construção das Válvulas 81
3.3. Tipos de Válvulas Industriais 81
3.3.1. Válvula Gaveta (Gate Valve) 81
3.3.1.1. Introdução 81

3.3.1.2. Componentes 82
3.3.1.3. Funcionamento 85
3.3.1.4. Vantagens e Desvantagens 86
3.3.1.5. Pressurização da Cavidade Entre o Corpo e o Castelo 87
3.3.1.6. Aplicações 87
3.3.2. Válvula Globo (Globe Valve) 87
3.3.2.1. Introdução 87
3.3.2.2. Componentes 88
3.3.2.3. Funcionamento 89
3.3.2.4. Vantagens e Desvantagens 91
3.3.2.5. Aplicações 91
3.3.3. Válvula Globo com Não-Retorno ou Globo SDNR 91
3.3.3.1. Introdução 91
3.3.3.2. Funcionamento da Válvula 92
3.3.3.3. Componentes 92
3.3.3.4. Vantagens e Desvantagens 92
3.3.3.5. Aplicações 93
3.3.4. Válvula Angular (Angle Valve) 93
3.3.4.1. Introdução 93
3.3.4.2. Componentes 93
3.3.4.3. Vantagens e Desvantagens 94
3.3.4.4. Aplicações 94
3.3.5. Válvula Globo Tipo Y ou Válvula Y 94
3.3.5.1. Introdução 94
3.3.5.2. Componentes 95
3.3.5.3. Vantagens e Desvantagens 95
3.3.5.4. Aplicações 95
3.3.6. Válvula Agulha (Needle Valve) 95
3.3.6.1. Introdução 95
3.3.6.2. Componentes 96
3.3.6.3. Vantagens e Desvantagens 96
3.3.6.4. Aplicações 96
3.3.7. Válvula Globo Pistão (Piston Valve) ou Válvula Sem Assento (Seatless Valve) 97
3.3.7.1. Introdução 97
3.3.7.2. Componentes 97
3.3.7.3. Vantagens e Desvantagens 98

3.3.7.4. Aplicações 98
3.3.8. Válvula Guilhotina (knife gate ou guillotine valve) 98
3.3.8.1. Introdução 98
3.3.8.2. Componentes 99
3.3.8.3. Vantagens e Desvantagens 99
3.3.8.4. Aplicações 99
3.3.9. Válvula Diafragma (Diaphragm Valve) 100
3.3.9.1. Introdução 100
3.3.9.2. Componentes 100
3.3.9.3. Vantagens e Desvantagens 101
3.3.9.4. Aplicações 101
3.3.10. Válvula Esfera (Ball Valve) 102
3.3.10.1. Introdução 102
3.3.10.2. Componentes 102
3.3.10.3. Vantagens e Desvantagens 104
3.3.10.4. Aplicações 104
3.3.11. Válvula Macho ou Plugue (Plug Valve) 105
3.3.11.1. Introdução 105
3.3.11.2. Componentes 105
3.3.11.3. Vantagens e Desvantagens 106
3.3.11.4. Aplicações 106
3.3.12. Válvula Borboleta 107
3.3.12.1. Introdução 107
3.3.12.2. Componentes 107
3.3.12.3. Vantagens e Desvantagens 109
3.3.12.4. Aplicações 109
3.3.13. Válvula Mangote (Pinch Valve) 109
3.3.13.1. Introdução 109
3.3.13.2. Componentes 110
3.3.13.3. Vantagens e Desvantagens 111
3.3.13.4. Aplicações 111
3.3.14. Válvula de Retenção (Check Valve) 111
3.3.14.1. Introdução 111
3.3.14.2. Componentes da Válvula de Retenção de Portinhola 111
3.3.14.3. Componentes da Válvula de Retenção de Levantamento ou de Pistão 112
3.3.14.4. Componentes da Válvula de Retenção de Esfera 113

3.3.14.5. Componentes da Válvula de Retenção de Dupla Portinhola 113
3.3.14.6. Componentes da Válvula de Retenção de Pé 114
3.3.15. Válvulas de Segurança e Válvulas de Alívio 114
3.3.15.1. Introdução 114
3.3.15.2. Componentes 115
3.3.15.3. Diferenças entre as Válvulas de Segurança (PSV) e Alívio (PRV) 116
3.3.15.4. Aplicações 117
3.3.16. Disco de Ruptura 117
3.3.17. Válvula Quebra-Vácuo (Vacuum Breaker Valve) 118
3.3.17.1. Introdução 118
3.3.17.2. Válvula Quebra Vácuo com Retenção Esfera 118
3.3.17.3. Válvula Quebra Vácuo com Contrapeso 119
3.3.17.4. Válvula Quebra Vácuo com Molas 119
3.3.17.5. Válvula de Alívio de Pressão e Vácuo (PVRV) 120
3.3.18. Válvula Redutora de Pressão (PRV) 120
3.3.18.1. Introdução 120
3.3.18.2. Válvula Reguladora de Pressão de Ação Direta 121
3.3.18.3. Válvula Reguladora de Pressão Auto Operada ou Pilotada 121
3.3.18.4. Aplicações 122
3.4. Válvula Ventosa 122
3.4.1.1. Válvula Ventosa Simples 122
3.4.1.2. Válvula Ventosa Combinada 123
3.5. Válvulas de Controle 124
3.6. Coeficientes de Vazão (CV) e (KV) 125
3.6.1. Coeficiente de Vazão CV 126
3.6.2. Coeficiente de Vazão KV 126
3.6.3. Relações entre CV e KV 126
3.6.4. Característica de Vazão Inerente 127
3.7. Perda de Carga em Válvulas 127
3.8. Seleção de Válvulas por Sistema 128
3.8.1. Sistemas de Bombeamento de Líquidos 129
3.8.2. Sistemas de Gases e Ar Comprimido 130
3.8.3. Sistemas de Vapor e Condensado 130
3.9. Normas de Fabricação e Classificação das Válvulas 131
3.9.1. Classes de Estanqueidade – FCI 70-2 / ANSI/ISA 75.07 131
4. ACESSÓRIOS E COMPONENTES DE INSTALAÇÕES 133

4.1. Filtros de Linha: Proteção dos Equipamentos 133
4.1.1. Filtro Y ou Y-Strainer 133
4.1.2. Filtro de Cesto (Basket Strainer) 134
4.2. Acessórios de Instalação 135
4.2.1. Conexões (Fittings) 135
4.2.2. Drenos e Respiros 136
4.2.3. Amortecedor de Pulsação ou Atenuador de Pulsos 136
4.3. Instrumentação de Processo: Fundamentos e Seleção 137
4.4. Medição e Monitoramento de Pressão 137
4.4.1. Manômetros de Bourdon 138
4.4.2. Transmissores ou Transdutores de Pressão 139
4.4.3. Pressostatos 140
4.5. Medição de Vazão 140
4.5.1. Medidores de Pressão Diferencial (ΔP) 141
4.5.1.1. Placa de Orifício 141
4.5.1.2. Tubo de Venturi 142
4.5.2. Medidor Eletromagnético (Magflowmeter) 142
4.5.3. Medidor por Efeito Coriolis 144
4.5.4. Medidores Ultrassônicos 145
4.5.5. Medidor de Turbina 147
4.5.6. Rotâmetro (Medidor de Área Variável) 148
4.6. Medição de Temperatura 149
4.6.1. Termopares (Thermocouple) 149
4.6.2. RTDs – Detectores de Temperatura por Resistência 150
4.6.3. Termômetro Bimetálico de Mostrador 151
4.7. Medição de Nível 152
4.7.1. Medição por Diferencial de Pressão (DP) 152
4.7.2. Medição Ultrassônica 152
4.7.3. Medição por Radar Sem Contato (FMCW) 153
4.7.4. Medição por Radar de Onda Guiada (GWR) 154
4.7.5. Medidor por Boia 154
4.7.6. Resumo dos medidores de nível 156
4.8. Critérios Gerais de Instalação para Instrumentação 156
4.8.1. Tomadas de Pressão e Ramais de Impulso 156
4.8.2. Proteção Contra Pulsação 157
4.8.3. Proteção Contra Vibração e Temperatura 157

4.8.4. Integração com Bombas Centrífugas e Alternativas 157
4.9. Visores de Fluxo 158
4.9.1. Visor Tubular (Sight Glass Simples) 158
4.9.2. Visor com Pá Articulada (Flapper) 158
4.9.3. Visor tipo rotativo (paddle Wheel/rotor) 159
4.9.4. Visor tipo flutuador (float/ball) 159
4.9.5. Critérios de aplicação 160
4.10. Visores de Nível 160
4.10.1. Visor tubular 160
4.10.2. Visor Reflexivo 161
4.10.3. Visor Transparente 161
4.10.4. Visor de Nível Magnético (Magnetic Level Gauge MLG) 162
4.10.5. Materiais e Limites Operacionais 163
4.10.6. Critérios de Seleção e Instalação 163
4.10.7. Caldeiras (NR-13) 164
4.11. Juntas de Expansão 164
4.11.1. Introdução 164
4.11.2. Juntas de Expansão Metálicas 165
4.11.2.1. Tipos por Movimento Absorvido 165
4.11.2.2. Empuxo da Pressão e Pontos Fixos 166
4.11.2.3. Posicionamento de Guias 166
4.11.2.4. Material Conforme Aplicação 166
4.11.2.5. Cuidados de instalação e operação 167
4.11.2.6. Vida em ciclos 167
4.11.3. Juntas de Expansão de Borracha (Elastoméricas) 167
4.11.4. Juntas de Expansão de Tecido 168
4.11.5. Juntas de expansão de PTFE 169
4.11.6. Critérios de seleção entre tipos 170
5. RESERVATÓRIOS E VASOS DE PROCESSO 171
5.1. Classificação dos Reservatórios 171
5.1.1. Por Função no Processo 171
5.1.2. Por Geometria 172
5.1.2.1. Cilíndrico vertical 172
5.1.2.2. Cilíndrico horizontal 172
5.1.2.3. Esférico 173
5.2. Tampos e Fundos de Reservatórios 173

5.3. Requisitos NR-13 – Vasos de Pressão no Brasil 175
5.3.1. Categorização de Vasos 175
5.3.2. Dispositivos de Segurança Obrigatórios 175
5.3.3. Inspeção Periódica 176
5.4. Segurança Contra Vácuo 176
5.4.1. Como o Vácuo é Gerado? 177
5.4.2. Dimensionamento por API 2000 177
5.4.2.1. A norma calcula duas capacidades diferentes: 178
5.4.2.2. Exemplo de ordem de grandeza 179
6. ARRANJOS TÍPICOS DE INSTALAÇÕES DE BOMBEAMENTO 180
6.1. Introdução 180
6.2. Arranjos Quanto à Sucção 180
6.2.1. Bomba Afogada (Sucção com Pressão Positiva) 180
6.2.1.1. Componentes característicos da sucção afogada: 181
6.2.1.2. O que não existe na bomba afogada: 181
6.2.1.3. Como isso reflete na operação da bomba: 182
6.2.1.4. Escorvamento e partida com bomba afogada: 182
6.2.1.5. Boas práticas adicionais na sucção afogada: 183
6.2.2. Bomba Não-Afogada (Sucção com Pressão Negativa) 183
6.2.2.1. Componentes característicos da sucção não-afogada 184
6.2.2.2. O que é diferente na sucção não-afogada 184
6.2.2.3. Como isso reflete na operação da bomba 185
6.3. Procedimentos de Escorvamento 185
6.3.1. Preenchimento Prévio da Tubulação de Sucção 186
6.3.2. Escorvamento por Tanque de Escorva 186
6.3.3. Uso de Bomba de Vácuo 187
6.3.4. Bombas Autoescorvantes 187
6.4. Circuito Aberto e Circuito Fechado 188
6.4.1. Instalação em Circuito Aberto 188
6.4.2. Instalação em Circuito Fechado 189
7. Arranjos Típicos de Instalações de Gases 191
7.1. Introdução 191
7.2. Tipos de Equipamento por Faixa de Pressão 191
7.3. Arranjos Quanto à Sucção 192
7.3.1. Componentes característicos da sucção 192
7.3.2. Sucção de ar atmosférico versus gás de processo 193

7.4. Arranjos Quanto à Descarga 193
7.4.1. Componentes característicos da descarga 193
7.4.2. Rede de distribuição com drenos em pontos baixos 195
7.5. Arranjos Quanto ao Circuito 195
7.5.1. Distribuição em rede aberta (ar comprimido) 195
7.5.2. Circuito fechado de gás (gás reciclado) 196
7.5.3. Compressão para armazenamento 196
7.6. Cuidados Operacionais Específicos 197
7.6.1. Surge e choke em compressor centrífugo 197
7.6.2. Aquecimento por compressão e descarga térmica 197
7.6.3. Condensado na rede e drenagem programada 198
7.6.4. Atmosfera classificada para gases inflamáveis 198
8. Arranjos Típicos de Instalações de Vapor 199
8.1. Introdução 199
8.2. Hierarquia da Rede de Vapor 199
8.3. Componentes Específicos da Rede de Vapor 200
8.3.1. Separador de umidade 200
8.3.2. Purgadores de condensado (steam traps) 200
8.3.3. Ventosa para gases não condensáveis 201
8.4. Retorno de Condensado 202
8.4.1. Linha de retorno e inclinações 202
8.4.2. Tanque flash 202
8.4.3. Bomba de retorno de condensado 203
8.5. Bomba de Alimentação da Caldeira (BFW pump) 203
9. BOAS PRÁTICAS, OPERAÇÃO E SEGURANÇA 204
9.1. Montagem e Alinhamento de Tubulações 204
9.1.1. Esforços nos Bocais de Bombas - Limites Admissíveis 204
9.1.2. Normas para Cargas Admissíveis nos Bocais: 204
9.1.3. Alinhamento Bomba - Motor 204
9.1.3.1. Tipos de desalinhamento: 205
9.1.3.2. Métodos de alinhamento 205
9.1.3.3. Tolerâncias de alinhamento (referência API 610): 206
9.1.4. Fundações e Chumbamento 206
9.2. Testes de Pressão e Inspeção Pré-Operação 207
9.2.1. Teste Hidrostático - Fundamento e Procedimento 207
9.2.1.1. Por que água e não gás? 207

9.2.1.2. Procedimento padrão de teste hidrostático: 207
9.2.2. Flush (Limpeza Química e Física da Tubulação) 208
9.3. Comissionamento de Sistemas de Bombeamento 208
9.3.1. Verificações Mecânicas Pré-Partida 209
9.3.2. Partida e verificações durante operação 210
9.4. Operação Segura com Vapor e Gases 210
9.4.1. Riscos Específicos da Operação com Vapor 210
9.4.2. Procedimento de Partida de Sistema de Vapor 211
9.4.3. Riscos Específicos com Gases Inflamáveis e Tóxicos 212
9.5. Manutenção Preventiva de Sistemas de Bombeamento 212
9.5.1. Plano de Manutenção Preventiva para Bombas 213
9.5.2. Manutenção Preditiva - Análise Espectral de Vibração 214
9.6. Gestão de Mudanças (MOC – Management of Change) 214
9.6.1. Tipos de Mudança que Requerem MOC 215
9.7. Normas e Regulamentações Brasileiras Aplicáveis 216
10. BIBLIOGRAFIA 217
10.1. Normas técnicas e regulamentadoras 217
10.1.1. Normas brasileiras (ABNT e NR) 217
10.1.2. Normas internacionais (ASME, API, ISA, ISO, EJMA) 217
10.2. Obras de referência técnica 219
10.3. Catálogos e Materiais Técnicos de Fabricantes 219
10.3.1. Bombas, compressores e equipamentos rotativos 219
10.3.2. Válvulas industriais 219
10.3.3. Instrumentação 219
10.3.4. Vasos de pressão, reservatórios e juntas de expansão 220
10.3.5. Materiais e equipamentos auxiliares 220
10.3.6. Web e materiais didáticos livres 220
11. ANEXOS 221
11.1. Propriedade dos Diafragmas 221
11.2. Vazamento de Vapor por Diâmetro do Furo e Pressão 221
11.3. Tipos de Materiais de Diafragmas e de Vedações 222
11.4. Tipos de Materiais de Revestimento de Válvulas 223
11.5. Classes de Pressão Para Alguns Materiais 224
11.6. Propriedades Mecânicas de Materiais de Válvulas 230
11.7. Composição Química de Alguns Materiais de Válvulas 231
11.8. Tabela de Normas Aplicáveis 232

11.8.1. Normas de Vasos de Pressão e Armazenamento 232
11.8.2. Normas de Tubulações 232
11.8.3. Normas de Válvulas 233
11.8.4. Normas de Bombas e Instalação 234
11.8.5. Normas de Instrumentação 234
11.8.6. Regulamentos e Normas Brasileiras 235
11.8.7. Normas Ambientais 235

Sobre o Autor e Coordenador do Curso



🎓 Formação Acadêmica

Micelli Camargo é Engenheiro Mecânico formado pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Mestre em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP/IPEN) na área de Tecnologia Nuclear, com especialização em Didática do Ensino Superior (Uniderp) e MBA Executivo em Marketing (FGV).

🏭 Experiência Profissional

Possui mais de 20 anos de experiência profissional, sendo 16 no setor de bombas e equipamentos industriais. Atuou como consultor e instrutor técnico em empresas de referência, como OMEL, Vallair e Embraseal, nas áreas de vendas técnicas, aplicação de equipamentos e treinamentos.

👨‍🏫 Atuação como Professor e Coordenador de Curso

Com mais **de 25 anos de experiência docente**, lecionou Engenharia Mecânica em universidades de São Paulo. Atualmente dedica-se a cursos técnicos e treinamentos especializados para engenheiros e profissionais da indústria e à coordenação do curso de **Pós-Graduação Lato Sensu Engenharia de Movimentação de Fluidos e Equipamentos Industriais**, até então inédita no Brasil.

📊 Engenharia & Cia

Em 2016, fundou o canal Engenharia & Cia, que hoje conta com mais de 50.000 inscritos no YouTube e 130.000 no LinkedIn. Desde então, já treinou mais de 1.200 alunos em cursos presenciais e online, além de desenvolver materiais técnicos e softwares exclusivos, como a Calculadora de Dimensionamento de Bombas.

💡 Missão Profissional

Combinando teoria sólida, prática de campo e experiência docente, Micelli Camargo dedica-se a transformar conhecimento técnico em aprendizado acessível e aplicável, contribuindo para a formação e atualização de engenheiros, técnicos e profissionais da indústria.

📩 contato@engenhariaecia.com
🌐 www.engenhariaecia.com
WhatsApp: +55 11 95696 7808

APRESENTAÇÃO

A **Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia de Movimentação de Fluidos** e Equipamentos Industriais foi concebida com um objetivo muito claro: formar profissionais capazes de compreender, analisar, dimensionar e operar sistemas reais de movimentação de fluidos na indústria.

Diferentemente de programas tradicionais, o foco do curso não está na teoria pela teoria, mas na aplicação prática dos conceitos, conectando fundamentos físicos à realidade de campo, envolvendo tubulações, bombas, compressores, medições, perdas, transientes e comportamento reológico.

Dentro dessa estrutura, cada disciplina foi pensada como parte de uma sequência lógica de construção de conhecimento, e é exatamente nesse ponto que entra a disciplina **Instalações de Bombeamento, para Gases e Vapores**.

Ela tem como objetivo apresentar a anatomia completa de uma instalação industrial de movimentação de fluidos, mostrando que a bomba (ou o compressor) é apenas um dos componentes de um conjunto operacional muito mais amplo, formado por tubulações, válvulas, conexões, acessórios, instrumentação, reservatórios e dispositivos de proteção, cuja integração correta é o que determina o desempenho e a confiabilidade do sistema.

Diferentemente de abordagens centradas no equipamento principal, o foco deste material está na **visão sistêmica da instalação**, no entendimento do papel de cada componente no conjunto, e nos critérios práticos que distinguem uma instalação bem projetada de uma instalação problemática.

A disciplina busca consolidar os conhecimentos necessários para que o engenheiro ou profissional possa **compreender, ler e analisar criticamente** uma instalação industrial real, com base nas normas aplicáveis (NR-13, ASME B31.3, API 610, ISA-5.1, EJMA) e na prática de campo.

Ao longo do curso, são desenvolvidos os conceitos essenciais para que o aluno compreenda como tubulações são classificadas por material e classe de pressão, como válvulas e acessórios são escolhidos conforme a função, como se lê e interpreta um P&ID, como se identificam os arranjos típicos de sucção e descarga e os dispositivos contra transientes, e quais são as boas práticas de instalação, operação e segurança nas três famílias de fluidos: líquidos, gases e vapor.

A proposta didática privilegia:

- abordagem top-down: do todo da instalação para o detalhe de cada componente;
- compreensão funcional de cada peça no contexto da instalação real;
- compreensão dos critérios práticos de especificação, ancorados nas normas vigentes;
- identificação dos erros comuns de instalação e de operação;
- leitura e interpretação de diagramas industriais (P&ID, fluxograma de processo).

ENGENHARIA
& CIA

ORGANIZAÇÃO DA PÓS-GRADUAÇÃO

Este Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia de Movimentação de Fluidos e Equipamentos Industriais nasce como resultado de anos de atuação profissional, pesquisa aplicada e prática de campo, aliado a um convênio de cooperação acadêmica e institucional entre organizações de referência nas áreas de engenharia, educação superior e pesquisa científica.

O curso conta com uma parceria acadêmica e institucional estruturada, envolvendo as seguintes entidades, com atribuições claramente definidas:

- **Engenharia e Cia Educacional:**
  Empresa especializada em treinamentos técnicos, cursos, softwares e consultoria em engenharia mecânica e industrial, com foco em bombas, equipamentos industriais e sistemas de movimentação de fluidos.
  É a responsável pela concepção técnica do curso, definição da grade curricular, coordenação dos conteúdos e orientação prática, assegurando o alinhamento do programa com as demandas reais da indústria.
- **Instituto Sendtko de Ensino Superior:**
  É a instituição parceira responsável pela coordenação institucional e intermediação dos trâmites acadêmicos junto à instituição certificadora.
  O Instituto Sendtko possui experiência na estruturação de programas de pós-graduação lato sensu reconhecidos pelo MEC.
- **Faculdade de Governança, Engenharia e Educação de São Paulo (FGE-SP):**
  É a instituição de ensino superior responsável pelo registro, autorização e certificação do curso junto ao **Ministério da Educação (MEC)**, assegurando a regularidade acadêmica, a validade nacional do diploma e o cumprimento das exigências legais do ensino superior brasileiro.
- **STAR:**
  O **Science, Technology and Advanced Research Institute** é uma instituição de pesquisa e ensino tecnológico registrada nos Estados Unidos que possibilita ao aluno a participação em um Programa de Pós-Bacharelado (Post-Baccalaureate Program), estruturado para o desenvolvimento de projetos técnicos aplicados, construção de portfólio profissional e ampliação da experiência internacional, obtendo assim uma segunda certificação, válida nos Estados Unidos da América.

APOIO INSTITUCIONAL

A Pós-Graduação em Engenharia de Movimentação de Fluidos e Equipamentos Industriais conta também com o apoio institucional de empresas atuantes no setor, reforçando seu caráter aplicado, alinhado às demandas reais da indústria e às práticas de campo.

Entre elas:

- **OMEL Bombas e Compressores:**
  É uma empresa pioneira no Brasil no campo da tecnologia de bombeamento e controle de fluidos. Genuinamente nacional atuando desde 1952 no mercado e reconhecida pela tecnologia em projetos e qualidade de fabricação de bombas e sistemas especiais para as mais diversas aplicações.

  Entre os produtos oferecidos estão bombas centrífugas, bombas de vácuo, bombas dosadoras, sopradores tipo "roots", compressores de anel líquido, rotâmetros, sistemas de Vácuo e válvulas de mangote.

- **Vallair Bombas, Compressores, Instrumentação e Válvulas:**
  É uma empresa especializada em bombas de deslocamento positivo, tais como bombas pneumáticas, bombas peristálticas e bombas dosadoras, instrumentos pneumáticos e acessórios para estes produtos.

  Também faz parte do escopo de fornecimento da Vallair, produtos e soluções de bombeamento específicos para o setor de energia, petróleo e saneamento, por meio da distribuição exclusiva de sopradores, bombas centrífugas e dosadoras, bombas de vácuo, válvulas de mangote e rotâmetros da **OMEL.**

OBJETIVOS

Fornecer ao aluno a visão sistêmica de uma instalação industrial de bombeamento para líquidos, gases e vapores, preparando-o para identificar os componentes, compreender os critérios pelos quais cada componente é especificado na prática e analisar criticamente arranjos reais encontrados em campo.

Ao final da disciplina, o aluno deverá ser capaz de:

- Compreender a estrutura geral e a função sistêmica de uma instalação industrial de bombeamento.
- Identificar e nomear os componentes típicos de uma instalação (tubulações, válvulas, conexões e fittings, acessórios, instrumentação, reservatórios e vasos de processo).
- Compreender os critérios pelos quais tubulações são especificadas por material, classe de pressão e tipo de união.
- Compreender como os diferentes tipos de válvulas são escolhidos para cada função (bloqueio, regulagem, retenção, proteção contra sobrepressão e contra vácuo, controle).
- Reconhecer o papel dos acessórios e dispositivos auxiliares de proteção da instalação (juntas de expansão, amortecedores de pulsação, dispositivos contragolpe de aríete, ventosas, drenos, visores).
- Interpretar criticamente os arranjos típicos de sucção, descarga e circuito (aberto e fechado), reconhecendo as particularidades de cada família de fluidos.
- Reconhecer os efeitos dinâmicos relevantes (golpe de aríete, cavitação, pulsação, dilatação térmica) e compreender os dispositivos utilizados para mitigá-los.
- Ler e interpretar P&IDs e diagramas de processo industrial conforme as normas de simbologia vigentes (ISA-5.1, ISO 10628).
- Identificar boas práticas e erros comuns de instalação e operação, reconhecendo suas consequências sobre a confiabilidade, a segurança e a eficiência do sistema.

1.INSTALAÇÃO DE BOMBEAMENTO

Antes de descermos ao detalhamento dos componentes (tubulações, válvulas, acessórios, instrumentação, reservatórios), é necessário responder a uma pergunta mais básica: o que é, afinal, uma instalação de bombeamento? Quais são suas partes e como elas se relacionam?

Este capítulo apresenta o todo. Os capítulos seguintes vão detalhar cada parte.

1.1. Visão Geral da Instalação

Uma instalação de bombeamento é o conjunto físico de equipamentos, tubulações, válvulas, acessórios e instrumentação que move um fluido de um ponto de origem a um ponto de destino, com vazão e pressão controladas.

É a infraestrutura ao redor da bomba (ou compressor) que torna o transporte do fluido viável, seguro e controlável.

Quase toda planta industrial tem dezenas ou centenas de instalações de bombeamento. Em uma refinaria pode haver mais de mil bombas, em uma estação de tratamento de esgoto, dezenas, em uma fábrica de cerveja ou cosmético, centenas.

Cada uma é uma instalação independente, especificada caso a caso, com seus componentes próprios, conforme ilustrado a seguir:

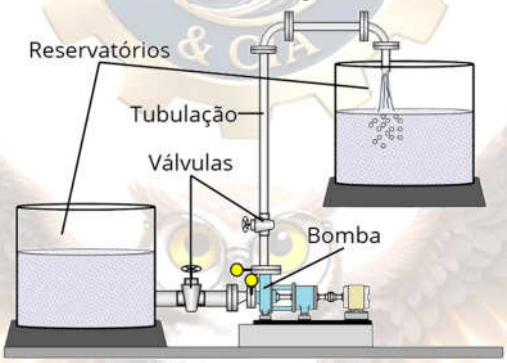


Figura 1: Instalação de bombeamento típica (Fonte: Engenharia e Cia)

1.2. Para Que Serve Uma Instalação De Bombeamento

As funções de uma instalação de bombeamento são variações de uma mesma ideia, a de mover fluido entre dois pontos de interesse.

Citamos, a seguir, os casos mais típicos:

- Transferir produto de um tanque para outro (transferência de armazenamento).
- Elevar fluido de cota baixa para cota alta (recalque de água, esgoto, óleo bruto).
- Pressurizar uma rede de consumo (água predial).
- Circular fluido em loop fechado para troca de calor (água de resfriamento, óleo térmico, glicol).
- Dosar produto em vazão controlada (aditivos químicos, floculantes, soluções de processo).
- Entre outros

1.3. Onde Aparece

Praticamente em todos os setores industriais e na infraestrutura urbana onde a movimentação de um líquido é necessária, entre eles:

- Saneamento básico: captação, tratamento e distribuição de água; coleta e tratamento de esgoto.
- Petróleo e gás: refino, exploração, transferência em terminais, dutos.
- Química e petroquímica: reatores, separadores, transferência de produtos intermediários.
- Alimentos e bebidas: leite, sucos, polpas, água tratada, processo CIP[1] (cleaning in place),
- Farmacêutica: água purificada, soluções, ingredientes,
- Mineração: polpa de minério, água de processo,
- Energia: alimentação de caldeira, água de resfriamento, óleo lubrificante,
- Predial e comercial: água quente, água fria, sistemas contra incêndio,

1.3.1. O Papel Da Bomba

A bomba é o coração da instalação. Ela é o equipamento que fornece a energia necessária para mover o fluido. Tudo o que existe na instalação tem como referência a bomba: as linhas de sucção e descarga, as válvulas de bloqueio e proteção, os instrumentos de monitoramento, os acessórios de proteção e os reservatórios.

Aqui trata-se da instalação que envolve uma bomba, não a bomba em si. Os tipos de bomba, suas curvas, seu dimensionamento, sua seleção e outros aspectos relacionados são tratados em disciplinas próprias do programa de pós-graduação.

Aqui basta saber que existem três grandes famílias:

- **Bombas centrífugas:** a grande maioria das aplicações industriais (estima-se 80 a 90% do universo). Operam por força centrífuga gerada por um rotor girando dentro de uma carcaça. Curva característica decrescente (mais Q, menos H). Adequadas para grandes vazões e alturas moderadas, fluidos limpos a moderadamente carregados.
- **Bombas de deslocamento positivo:** pistão, êmbolo, diafragma, lóbulos, parafuso, engrenagens. Deslocam volume fixo por ciclo. Adequadas para alta pressão, baixa vazão, fluidos viscosos, dosagem precisa, ou fluidos sensíveis ao cisalhamento.
- **Bombas especiais:** são bombas que utilizam de outros princípios que não são estritamente "centrífugas" ou de "deslocamento positivo", como, bombas axiais, vortex, helicoidal centrífugas, discutidas em disciplinas anteriores, ou até mesmo outras ainda mais específicas, como bombas periféricas ou bombas de disco (discflo), entre outras, que não mencionamos anteriormente.

[1] CIP ou cleaning in place é o processo de limpeza que é aplicado com objetivo de limpar os equipamentos que acabaram de passar por determinado processo.

Observação 01: *Em geral, não há diferença significativa na instalação de bombeamento em função do tipo de bomba, exceto, componentes que atendem propósitos específicos, como válvulas de alívio ou atenuador de pulsação.*

Observação 02: *O processo de dimensionamento, na essência, também é muito similar para ambos os casos, no entanto, bombas alternativas podem exigir o cálculo de perdas de carga por aceleração e desaceleração que são somadas ao valor de altura manométrica (HB) obtidas naturalmente.*

1.3.2. Equipamentos Similares Às Bombas

Quando a instalação trabalha com gases ou vapor, lança-se mão de outros equipamentos com a mesma função da bomba. Esses equipamentos são os compressores e ventiladores que serão tratados em disciplina própria.

A instalação ao redor tem a mesma lógica conceitual, mas com adaptações práticas, conforme listado a seguir:

Fluido	Equipamento motriz	Comentário
Líquido	Bomba (centrífuga ou deslocamento positivo)	Foco principal desta disciplina
Gás de baixa pressão	Ventilador (axial ou centrífugo)	Gera pequena diferença de pressão para grande vazão
Gás de média pressão	Soprador (roots, centrífugo)	Pressões até 1 [bar] manométrico
Gás de alta pressão	Compressor (alternativo, parafuso, centrífugo)	Pressões acima de 7 [bar]
Vapor	Não há equipamento motriz contínuo. A pressão vem do gerador (caldeira) e é controlada por redutoras	Redutoras de pressão (PRV[2]) substituem funcionalmente a bomba na distribuição

1.4. Anatomia de uma Instalação Típica para Líquidos

A seguir ilustramos uma instalação de bombeamento com os seus principais componentes.

Vamos percorrer uma instalação típica de bombeamento de líquido, seguindo o sentido do escoamento, identificando cada componente, sua função no sistema e como ele se relaciona com a bomba.

Essa é a base que se aplica, com adaptações, a qualquer instalação industrial.

[2] PRV é um acrônimo usado na nomenclatura como referência tanto para as válvulas de alívio (PRV de Pressure Relief Valve) quanto às válvulas reguladoras de pressão (PRV de Pressure reducing valve), portanto, somente analisando a válvula ou o contexto para verificar de qual categoria se enquadra a menção “PRV”.

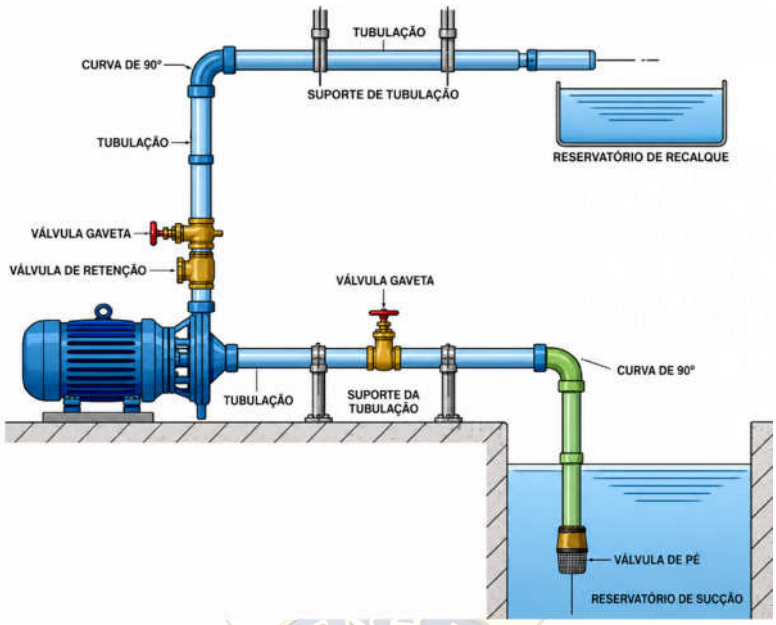


Figura 2: Instalação de bombeamento típica (Fonte: Engenharia e Cia)

1.4.1. O Lado da Sucção

O lado da sucção começa no reservatório que contém o fluido a ser bombeado e termina no bocal de entrada da bomba. É o lado mais delicado da instalação.

Erros aqui podem causar cavitação na bomba, vibração, queda de vazão e redução de vida útil dos componentes internos.

A regra de ouro é: minimizar tudo o que possa reduzir a pressão na entrada da bomba, em outras palavras, quanto menor for o seu comprimento, menos itens tiver, melhor.

1.4.1.1. Componentes típicos da sucção

- **Reservatório de sucção:**
  Recipiente que contém o fluido. Pode ser um tanque atmosférico aberto, um vaso pressurizado, uma caixa d'água, um poço, uma cisterna, uma piscina.

  A geometria, o nível mínimo de operação e a posição da tomada de sucção influenciam diretamente o funcionamento da bomba.
- **Válvula de pé com crivo (foot valve):**
  Instalada apenas em instalações com bomba não-afogada (bomba acima do nível do líquido).

  Faz duas funções: retém o líquido na linha de sucção quando a bomba para (mantém a escorva) e filtra sólidos grandes com o crivo integrado.

  Em instalações de sucção afogada (bomba abaixo do nível), ela não é necessária.
- **Linha de sucção:**
  Tubulação que leva o fluido do reservatório à bomba. Deve ser a mais curta possível, com diâmetro igual ou maior ao bocal de sucção da bomba, sem reduções, sem subidas que possam gerar bolsões de ar, e com poucas curvas. Cada metro adicional, cada curva e cada redução reduz a pressão disponível na entrada da bomba.

- **Filtro de sucção (Y-strainer ou cesto não ilustrado):**
  Protege a bomba de sólidos arrastados pela linha (carepa de solda, areia, restos de juntas, resíduos de processo).

  Em instalações novas, sólidos de montagem são uma causa comum de falha precoce da bomba.

  O filtro é peça de manutenção, deve ser limpo periodicamente e seu diferencial de pressão deve ser monitorado.
- **Válvula de bloqueio da sucção (gaveta):**
  Permite isolar a bomba para manutenção. NUNCA deve ser usada para controle de vazão.

  Frequentemente é uma válvula gaveta, mas outros tipos podem aparecer como válvulas esfera, macho ou borboleta.

  Recomenda-se que sempre trabalhe totalmente aberta durante a operação e que seja escolhida um tipo com baixa perda de carga para minimizar os riscos do fenômeno da cavitação.
- **Medidor de pressão de sucção (não ilustrado):**
  Mede a pressão na entrada da bomba. Pode ser um manômetro, um vacuômetro, um vacuomanômetro ou outro tipo mais sofisticado como transdutores ou transmissores de pressão.

  Em instalação afogada, mostra pressão positiva. Em instalação não-afogada, mostra vácuo (pressão negativa). É um dos instrumentos mais informativos da instalação, sua variação ao longo do tempo é o melhor indicador de filtro entupindo, válvula vazando ou problema de escorva.
- **Redução excêntrica com topo reto:**
  Faz a transição entre o diâmetro da linha de sucção e o bocal da bomba (que tipicamente é menor que a linha).

  A excentricidade fica no lado inferior, conforme ilustrado a seguir, mantendo o topo reto. Isso evita formação de bolsão de ar na parte superior da redução, que reduziria o NPSH efetivo e pode prejudicar o escorvamento da bomba e provocando uma operação instável.

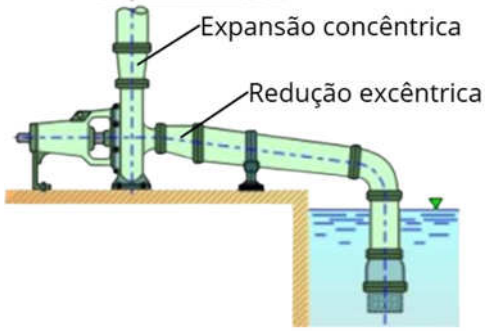


Figura 3: Redução excêntrica e expansão concêntrica (Fonte: IMBIL)

- **Bocal de sucção da bomba:**
  Ponto de entrada do fluido na bomba. Geralmente flangeado, ANSI ou DIN, podendo ser roscado para diâmetro menores ou com conexão Clamp, em aplicações sanitárias.

O alinhamento entre a tubulação e o bocal deve ser perfeito, sem forçar a tubulação contra a bomba, o esforço da tubulação sobre o bocal é uma causa frequente de desalinhamento e desgaste do selo mecânico.

Ponto-chave: *Tudo no lado da sucção tem o mesmo objetivo: chegar ao bocal da bomba com a maior pressão possível, sem ar, sem turbulência, sem sólidos.*

Cada componente nessa linha existe para preservar essa condição, ou para permitir manutenção sem comprometê-la.

1.4.2. O Lado da Descarga (Recalque)

O lado da descarga começa no bocal de saída da bomba e termina no ponto de utilização ou no reservatório de destino. Aqui a pressão é alta (a bomba acaba de elevar a energia do fluido), e a instalação se concentra em controlar essa energia, proteger a bomba contra retorno do fluido, e permitir manutenção segura.

1.4.2.1. Componentes típicos da descarga

- **Bocal de descarga da bomba:**
  Ponto de saída do fluido. Como na sucção, deve estar alinhado com a tubulação sem esforço.
- **Expansão / Redução concêntrica (se necessária):**
  Conecta o bocal de descarga à linha de recalque, que pode ter diâmetro maior. Tem função oposta da redução como expansão, embora seja frequente se referirem a ela em manuais como "redução".

  Diferente da sucção, aqui ela pode ser concêntrica (não há risco de bolsão de ar na descarga pressurizada).
- **Medidor de pressão de descarga:**
  Indica a pressão de saída bomba. Aqui sempre valor positivo, sendo um manômetro ou transdutor. Junto com o medidor da sucção, permite calcular a altura manométrica total que a bomba está fornecendo (parâmetro fundamental de monitoramento). Embora seja muito comum instalações de bombeamento sem nenhum instrumento de medição.
- **Válvula de retenção (check valve):**
  Permite o fluxo apenas no sentido bomba → linha. Impede que o fluido retorne quando a bomba para.

  Sua principal função é proteger a bomba: sem a retenção, o fluido da linha pressurizada retornaria pela bomba parada, fazendo-a girar no sentido inverso, podendo destruir o rotor e o selo mecânico.

  Uma função adicional é proteger a bomba contra o golpe de aríete decorrente de um transiente hidráulico.
- **Válvula de bloqueio/controle da descarga:**
  Permite isolar a bomba e a linha de descarga para manutenção, nesse caso, podendo ser uma gaveta ou esfera. Se for usada também para controlar a vazão, válvulas globo são mais eficazes nesse caso.

Sempre instalada DEPOIS da retenção. Em bombas centrífugas, é fechada total ou parcialmente durante a partida (para não sobrecarregar o motor) e aberta gradualmente após estabilização.

- **Linha de recalque:**
  Tubulação que leva o fluido pressurizado ao destino. Pode ser curta (poucos metros, dentro da planta) ou muito longa (adutoras de quilômetros).

  Aqui ocorre a maior parte das perdas de carga do sistema. Inclui curvas, conexões, válvulas adicionais conforme o processo.
- **Acessórios da linha:**
  Drenos nos pontos baixos (para esvaziamento), respiros/ventosas nos pontos altos (para eliminar ar acumulado), juntas de expansão se houver dilatação térmica significativa, válvulas de controle de vazão se o processo exigir, instrumentos adicionais de pressão e vazão.
- **Ponto de entrega:**
  Reservatório de destino (em transferência), rede de distribuição (em pressurização), entrada de equipamento (em alimentação de processo).

  Aqui termina a instalação propriamente dita.

1.4.3. Os Acessórios e Instrumentos

Além dos componentes principais, uma instalação completa tem acessórios e instrumentos que cumprem funções específicas.

A presença ou ausência de cada um depende da criticidade da instalação.

Categoria	Componentes típicos	Função
Proteção da bomba	Filtro de sucção, válvula de retenção, linha de recirculação mínima, válvula de alívio em bombas de deslocamento positivo	Evitar danos por sólidos, por refluxo, por baixa vazão ou por sobrepressão
Monitoramento	Vacuômetro de sucção, manômetro de descarga, medidor de vazão, indicador de temperatura	Permitir o operador identificar variações antes que virem falhas
Manutenção	Válvulas de bloqueio na sucção e na descarga, drenos em pontos baixos, respiros em pontos altos, juntas flangeadas	Permitir isolar e esvaziar a bomba sem parar o processo restante
Controle	Válvula de controle de vazão, VFD no motor, by-pass automático	Ajustar a operação à demanda variável do processo
Segurança	Válvula de alívio, válvula de retenção amortecida, dispositivos anti-aríete, intertravamentos elétricos	Proteger o sistema de transientes, sobrepressão e falha em cascata

1.5. Como Cada Componente Afeta o Escoamento

Cada peça de uma instalação cumpre uma função, mas também impacta o escoamento. Compreender esse impacto é o que diferencia o profissional de instalações do projetista que apenas lista componentes.

Aqui vamos fazer uma análise qualitativa do tema.

1.5.1. O Conceito Prático de Perda de Carga

Quando o fluido se move por uma tubulação, ele perde energia. Essa energia é dissipada como calor por atrito (com as paredes do tubo) e por turbulência (em curvas, válvulas, mudanças de direção).

A quantidade de energia perdida em cada componente é o que se chama de **perda de carga**.

Três fatos práticos sobre perda de carga, suficientes para o engenheiro de instalações:

- **A perda de carga cresce na proporção ao quadrado do aumento da velocidade:**
  Como a vazão é diretamente proporcional à velocidade, numa mesma instalação, dobrar a vazão, por exemplo, quadruplica a perda.

  Por isso o consumo energético de uma bomba dispara quando se pede vazão muito alta da instalação.
- **A perda depende do componente:**
  Uma válvula gaveta aberta tem perda quase nula, enquanto, uma válvula globo aberta tem perda da ordem de pelo menos 50 vezes maior, ou mais.

  Por isso a escolha do tipo de válvula importa tanto.
- **A perda total é a soma das perdas individuais:**
  Cada metro de tubo, cada curva, cada válvula contribui. A soma é a curva do sistema, que cruza a curva da bomba no ponto de operação.

1.5.2. Categorias de Componentes pelo Impacto

Categoria de componente	O que faz com o escoamento	Exemplo
Conduz	Mantém o fluido em movimento ao longo de um caminho	Tubulação reta
Desvia	Muda a direção do escoamento, com pequena perda	Curva 90 graus, tê
Acelera ou desacelera	Altera a velocidade por mudança de área	Redução, expansão
Bloqueia	Interrompe completamente o escoamento quando fechado	Válvula gaveta, esfera

Categoria de componente	O que faz com o escoamento	Exemplo
Regula	Permite ajustar a vazão por estrangulamento, com perda controlada	Válvula globo, agulha, controle
Protege	Atua automaticamente em condição de exceção	Retenção (impede refluxo), PSV (alivia sobrepressão), quebra-vácuo
Mede	Detecta variáveis do escoamento	Manômetro, medidor de vazão, transmissor
Filtra	Retém sólidos sem interromper o escoamento	Y-strainer, filtro de cesto
Acumula / amortece	Absorve transientes de pressão ou variação de volume	Tanque hidropneumático, vaso de expansão, amortecedor de pulso
Armazena	Mantém o fluido como reserva para alimentação ou destino	Reservatórios de sucção e descarga

Observação: *Cada componente é um equipamento técnico em si, com critérios de seleção, materiais, normas e variantes. Os capítulos seguintes detalham cada categoria. Aqui o objetivo é apenas estabelecer a função e o impacto no escoamento.*

1.5.3. Curva do Sistema e o Ponto

A curva do sistema é a representação gráfica da altura manométrica, HB, (ou pressão diferencial) que a instalação exige da bomba em função da vazão que se deseja mover. Essa que depende da altura geométrica de elevação (h_{geo}), e as perdas de carga (Hp).

Assim a curva do sistema, na sua versão mais simples, pode ser escrita:

$$\boldsymbol{CS = h_{geo} + Hp}$$

Como a perda de carga é proporcional ao quadrado da velocidade, a curva tem um aspecto de uma curva de função do 2º grau, conforme ilustrado a seguir:

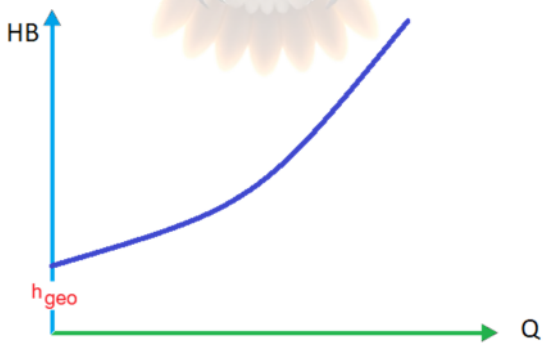


Figura 4: Representação da curva do sistema (Fonte: Engenharia e Cia)

Lembrando que a *Altura Geométrica de Elevação* (h_{geo}) corresponde à diferença de cota vertical entre o nível do reservatório de sucção e o nível do reservatório de recalque ou descarga.

A bomba tem sua própria curva HB × Q. O ponto onde a curva do sistema cruza a curva da bomba é o ponto de operação, conforme ilustrado a seguir para uma bomba centrífuga.

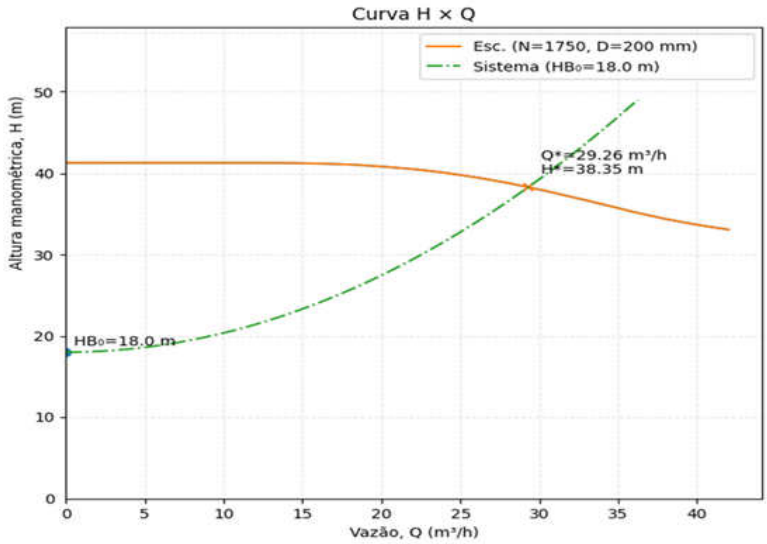


Figura 5: Representação da curva do sistema (verde), da curva da bomba (laranja) e o ponto de operação (Fonte: Engenharia e Cia)

No caso de uma bomba de deslocamento positivo, a análise é similar, a única diferença é o comportamento característicos das bombas de deslocamento positivo que é distinto da bomba centrífuga.

Esse é o conceito unificador de todo o projeto: a bomba opera onde o sistema permite que ela opere. Mudar a instalação (fechando uma válvula, trocando um filtro, alterando o nível de um reservatório) muda o ponto de operação.

1.6. Particularidades de Instalações para Gases

Em uma instalação de gás, o equipamento motriz é um ventilador, soprador ou compressor (dependendo da pressão), e o fluido se comporta de forma diferente do líquido.

O resultado prático é que a instalação tem componentes diferentes, ou os mesmos componentes em quantidade ou posição diferente.

Não vamos discutir aqui a compressibilidade ou a termodinâmica do gás, e sim o que aparece diferente fisicamente na instalação.

1.6.1. O que tem na instalação de gás

A seguir, apresentamos os principais componentes que diferenciam uma instalação com líquido ou com gás.

Também pode haver diferenças entre uma instalação para ar comprimido ou para um gás de processo, principalmente, se o gás tiver riscos associados, como os riscos de explosão ou à saúde.

Componente exclusivo de gás	Função
Reservatório hermeticamente fechado (pulmão)	Armazena gás comprimido para atender picos de demanda. Em caso de gases tóxicos, outros cuidados podem ser necessários para garantir a segurança.
Separador de condensado	No caso de ar comprimido, a umidade presente no ar condensa. O separador remove as gotas líquidas antes do consumo. Esse separador pode ser central, logo após o compressor ou no local de uso.
Drenos automáticos	Liberam periodicamente o condensado acumulado no reservatório pulmão, no separador e nos pontos baixos da linha. Operam por temporizador, por nível, ou por sensor
Secadores	Reduz o ponto de orvalho do ar a níveis muito abaixo da temperatura ambiente, evitando condensação ao longo da linha de distribuição. Também utilizado com gases diversos, quando sujeitos a umidade.
Filtros coalescentes	Removem aerossóis e névoa de óleo proveniente do compressor ou oriundos do processo
Lubrificadores em pontos de uso	Em sistemas que alimentam ferramentas pneumáticas, injetam pequena quantidade de óleo no ar para lubrificar internamente as ferramentas
Válvula de segurança	Em vasos pressurizados e linhas de processo, tem a mesma função da PRV, mas ajustada para o trabalho com gás.
Silenciadores em escapes e válvulas	Atenuam ruído de escape de gás, que é tipicamente alto

1.6.2. Cuidados peculiares em instalações de gás

Devido a expansibilidade do gás, sua manipulação é mais crítica do que líquidos e requer cuidados específicos, que apontamos a seguir:

- **Vibração e suportação:**
  Gases escoam em velocidades muito maiores que líquidos (10 a 30 [m/s] contra 1 a 3 [m/s]).

  Velocidades altas geram vibração e ruído. A suportação da tubulação é mais reforçada, com mais pontos de apoio.
- **Vazamentos:**
  Pequenas frestas que em líquido apenas pingam, em gás vazam continuamente.

  Gases inflamáveis (GN, GLP, hidrogênio) ou tóxicos (amônia, cloro) exigem detecção de vazamento e protocolos rigorosos.
- **Aquecimento na compressão:**
  Comprimir um gás aquece. Compressores podem ter ar de descarga acima de 150 ºC.

  Linhas próximas ao compressor devem ser de aço (não plástico) e isoladas para segurança de operadores.

- **Variação volumétrica:**
  Ao longo da linha, conforme a pressão cai (por consumo ou por perda de carga), o volume aumenta.

  Linhas de gás de longa extensão muitas vezes têm diâmetros crescentes para acomodar essa expansão.
- **Não há cavitação:**
  Cavitação é fenômeno de líquido vaporizando. Em gás não existe. Mas existe o problema análogo de pulsação em compressores alternativos.

1.7. Particularidades de Instalações para Vapor

Primeiro ponto que temos que entender é: o que é vapor?

Naturalmente, as substâncias nas condições normais do nosso planeta, podem se apresentar em três fases distintas, sólida, líquida e gasosa. Diz-se que o sólido possui forma e volume definido, o líquido apenas volume definido e o gás não possui nem forma, nem volume definidos.

Gás é a situação em que as moléculas possuem maior grau de liberdade, por isso, se expandem continuamente, a menos que sejam forçadas ou confinadas num reservatório hermético, ocupando todo o volume disponível, por isso não tem volume definido.

Podemos entender vapor como a condição de um certo produto, naturalmente líquido, que foi forçado a passar para a fase gasosa. Isso pode acontecer aumentando-se a temperatura e/ou reduzindo-se a sua pressão para valores inferiores da pressão de vapor.

O comportamento do escoamento de um gás ou de um vapor é similar, com equações equivalentes que podem ser adaptadas para uma condição ou outra.

Embora existam diversos tipos de vapores utilizados na indústria, no nosso contexto ele correspondente ao vapor d'água utilizado em diversos processos industriais, seja para aquecimento, esterilização ou geração de energia.

Em uma instalação de vapor, não há normalmente um equipamento motriz contínuo, como ocorre em sistemas de bombeamento convencionais. O vapor é gerado em uma caldeira a alta pressão e distribuído ao processo por meio de um gradiente de pressão. A energia responsável pelo escoamento já está armazenada na forma de entalpia do próprio fluido.

A instalação ao redor é responsável pelo controle da distribuição, da redução de pressão, da drenagem do condensado naturalmente formado e também pela absorção das dilatações térmicas da tubulação.

A principal diferença entre um sistema gasoso ou com vapor é a possibilidade de condensação pontual que esse último pode ter, sendo necessário a captação da água. Além da necessidade de revestimento térmico que as tubulações possuem com objetivo de reduzir as perdas térmicas e evitar a condensação excessiva e antes da hora desejada.

Em sistemas gasosos convencionais, é mais comum o trabalho em temperatura ambiente, embora não seja raro, os sistemas frios ou criogênicos.

1.7.1. O Que Tem de Diferente na Instalação de Vapor

A seguir relacionamos os principais componentes ou dispositivos que estão presentes nas instalações com vapor, bem com sua função.

Componente exclusivo de vapor	Função
Caldeira (gerador de vapor) ou estação redutora	Origem do vapor. Caldeira gera; estação redutora recebe vapor de alta pressão da rede e reduz para a pressão de uso
Isolamento térmico obrigatório	Reduz perdas para o ambiente, evita queimaduras, mantém o vapor seco. Espessura calculada conforme diâmetro e temperatura
Purgador de vapor (steam trap)	Drena o condensado que se forma naturalmente, sem deixar vapor escapar. Dispositivo automático fundamental. Há três grandes famílias (termostático, mecânico, termodinâmico)
Linhas de drenagem	Pontos baixos com drenagem permanente para o purgador. Coletam o condensado que se acumula ao longo da linha
Coletor de impurezas (steam strainer)	Filtro instalado antes de equipamentos sensíveis (válvulas de controle, purgadores). Retém partículas de carepa, ferrugem, fragmentos de gaxetas
Válvula de partida lenta (warm-up)	Permite aquecer gradualmente uma linha fria antes da abertura da válvula principal. Reduz choque térmico e formação súbita de condensado
Juntas de expansão ou loops de dilatação	Acomodam a dilatação térmica do aço (uma linha de 100 metros aquecendo a 250 [ºC] dilata cerca de 250 [mm])
Linha de retorno de condensado	Coleta o condensado dos purgadores e o devolve à caldeira como água de alimentação. Recurso energético importante: o condensado já está quente
Tanque de condensado e desaerador	Recebe o condensado, libera gases não-condensáveis (ar, CO_2), e abastece a bomba de alimentação da caldeira
Manifolds de distribuição	Cabeçotes que distribuem o vapor da linha principal para os ramais. Cada saída tem isolamento, drenagem e PSV se necessário

1.7.2. Cuidados peculiares em instalações de vapor

As instalações com vapor possuem características relativas ao uso do vapor que trabalham pressurizadas e com alta temperatura, o que potencializa os riscos de operação.

A seguir apontamos os principais?

- **Martelamento por condensado (steam hammer):**

  Quando uma linha de vapor é aberta sem drenagem prévia, o vapor entra em alta velocidade e empurra a água condensada como um pistão, gerando ondas de choque destrutivas.

  Pode arrancar válvulas, romper flanges, ferir operadores. A partida lenta com drenos abertos é o procedimento padrão para evitar.

- **Queimaduras:**
  Vapor saturado a 10 [bar] está a 184 [ºC]. Vapor superaquecido pode estar a 450 [ºC] ou mais.

  Linhas, válvulas e flanges aquecem por condução. Isolamento térmico é obrigatório por segurança, não apenas por eficiência energética. Sinalização e bloqueio de áreas próximas a vapor são padrão NR-13.
- **Dilatação térmica significativa:**
  Linhas de vapor longas dilatam centímetros, às vezes dezenas de centímetros.

  Sem juntas de expansão ou loops, a dilatação arranca bocais de equipamentos. Suportação com guias e pontos fixos calculados é crítica.
- **Drenagem permanente, não opcional:**
  Toda linha de vapor produz condensado continuamente, em maior ou menor quantidade. Purgadores em pontos baixos não são item de boa prática, são item obrigatório de projeto.

  Linha sem purgador acumula condensado, perde eficiência energética, gera martelamento, ataca o equipamento a jusante.
- **Procedimento de partida lento:**
  Linhas de vapor frias precisam ser aquecidas gradualmente (warm-up) antes de uso pleno. Abertura rápida de válvula principal contra linha fria é causa frequente de acidentes.

  Procedimento típico: abrir drenos, abrir by-pass de aquecimento da válvula principal por 10 a 30 minutos, fechar drenos quando saída for vapor seco, abrir válvula principal.

Atenção: *Instalações de vapor são tratadas pela NR-13 com rigor especial.*

Caldeiras categoria A exigem operador certificado, inspeções semestral e anual, prontuário do equipamento, PSV ajustada e manutenção documentada.

A morte por acidente com vapor superaquecido ou explosão de caldeira é evento histórico recorrente. A engenharia de instalação de vapor é menos sobre desempenho e mais sobre segurança.

1.8. Comparativo Prático: O Que Tem em Cada Instalação

A tabela seguinte sintetiza as três famílias de instalações lado a lado. Para o engenheiro, é a chave prática de leitura rápida do tipo de sistema.

Aspecto	Líquidos	Gases	Vapor
Equipamento motriz	Bomba (centrífuga ou DP)	Ventilador, soprador ou compressor	Caldeira ou estação redutora (sem motor contínuo)
Reservatório típico	Tanque atmosférico ou pressurizado	Reservatório pulmão pressurizado	Tanque de condensado + desaerador
Velocidade típica	1 a 3 [m/s]	10 a 30 [m/s]	20 a 50 [m/s]
Material da tubulação	Aço carbono, inox, plásticos	Aço carbono ou inox	Aço carbono (sempre metálico) com isolamento
Acessório de proteção da bomba	Filtro Y, retenção, recirculação mínima	Filtro coalescente, separador, PSV	Coletor de impurezas, purgador, dreno
Drenagem	Manual em pontos baixos	Automática (drenos temporizados)	Permanente via purgadores (steam traps)
Isolamento	Não usual	Não usual	Obrigatório, espessura calculada
Suportação	Padrão	Reforçada (vibração)	Com guias e fixos calculados (dilatação)
Risco operacional dominante	Cavitação na bomba	Vazamento e vibração	Martelamento, queimaduras, dilatação
Problema típico de partida	Bomba sem escorva	Compressor em superaquecimento	Choque térmico, martelamento
Norma específica chave	ANSI/ASME B73.1[3] ISO 5199[4] | API 610	ASME B31.3 NR-13 (vasos)	NR-13 (caldeiras) ASME I

1.9. Critérios de uma Boa Instalação

Independentemente do fluido, há princípios que distinguem uma instalação bem projetada de uma instalação problemática.

Os capítulos seguintes detalham os critérios técnicos para cada componente. Aqui listamos os princípios gerais.

1.9.1. Especificação Correta dos Materiais

Cada componente deve ser compatível com o fluido, com a temperatura e com a pressão.

[3] ANSI = American National Standards Institute | ASME = The American Society of Mechanical Engineers
[4] ISO = International Organization for Standardization | API = American Petroleum Institute

A especificação errada (aço carbono em soda cáustica, PVC em vapor, inox 304 em meio com cloreto, por exemplo) leva a falha precoce, frequentemente catastrófica.

O critério não é o custo do componente, e sim, o custo do ciclo de vida da instalação.

1.9.2. Dimensionamento da Tubulação

Tubulação subdimensionada causa perda de carga excessiva, erosão, ruído, vibração, redução de NPSH na sucção.

Tubulação superdimensionada causa sedimentação de sólidos, custo desnecessário, ocupação de espaço, dificuldade de drenagem.

Uma do método de dimensionamento é pela **velocidade admissível** típica de cada tipo de fluido, que trataremos em disciplina própria.

1.9.3. Instrumentação para monitoramento contínuo

Pelo menos pressão na sucção e na descarga da bomba, e indicação visual de vazão (sight glass ou medidor) são recomendados.

Em sistemas críticos, registro contínuo de dados (datalogger ou SCADA). A maior parte das falhas de bombas é precedida por variação detectável de pressão ou vibração nas semanas anteriores. Sem instrumentação, a falha é por acidente.

1.9.4. Proteção contra transientes e operação fora da faixa

Toda instalação está sujeita a eventos não-rotineiros, tais como:

- partida e parada de bomba,
- falha de energia,
- abertura ou fechamento rápido de válvula,
- oscilação de demanda.

Os dispositivos de proteção (retenção, PRV ou PSV, quebra-vácuo, válvulas amortecidas, by-pass, recirculação mínima) garantem que esses eventos não destruam a instalação.

1.9.5. Suportação e Alinhamento Corretos

Tubulação mal suportada exerce esforço sobre os bocais da bomba, causando desalinhamento, desgaste do selo mecânico, vibração e falha precoce.

1.9.6. Procedimentos Documentados

Partida, parada, rotação de bombas standby, limpeza de filtros, calibração de instrumentos, inspeção visual periódica. Tudo precisa estar documentado e atribuído a responsáveis.

Bombas standby não testadas falham na hora da emergência. Filtros não limpos entopem e causam cavitação. Sem procedimento, a confiabilidade é episódica.

1.10. Tópicos Complementares

1.10.1. Como Ler um Diagrama de Instalação

O P&ID (Process and Instrumentation Diagram) é o desenho técnico que representa graficamente uma instalação, com todos os equipamentos, tubulações, válvulas, instrumentos e suas conexões.

É o documento de referência para projetar, operar e manter qualquer planta industrial. Saber ler um P&ID é habilidade obrigatória para engenheiros e profissionais que lindam com instalações.

Os principais elementos visuais de um P&ID:

- **Linhas:**
  representam tubulações. Diferentes espessuras e padrões indicam tipos diferentes (linha principal, instrumento, vapor, ar comprimido).
- **Equipamentos:**
  desenhados em silhueta simplificada e padronizada.

  Cada bomba, tanque, trocador, vaso tem símbolo próprio. Tags alfanuméricos identificam (P-101 é bomba 101, V-203 é vaso 203).
- **Válvulas:**
  símbolos padronizados por tipo, gaveta, globo, esfera, retenção, PSV têm desenhos diferentes. Tags identificam por número.
- **Instrumentos:**
  círculos com letras dentro. A primeira letra indica a variável medida (P pressão, T temperatura, F vazão, L nível).

  A segunda letra indica a função (I indicador, T transmissor, C controlador, A alarme).
- **Conexões e linhas de instrumento:**
  linhas pontilhadas ou tracejadas conectam os instrumentos aos pontos de medição e aos sistemas de controle.

Os símbolos utilizados são estabelecidos em normas, podendo ser diferentes, portanto é importante saber qual é a base do diagrama analisado.

Entre as normas mais conhecidas no Brasil temos a ISA-5.1[5], ISO 10628 e ANSI/ISA-5.4.

A seguir apresentamos os símbolos mais comuns com base na ISA-5.1

> ***Ponto-chave:*** *Mais do que ler um P&ID, o engenheiro de instalações deve saber criticar um P&ID. Verificar se há válvulas de bloqueio nos pontos certos, se há instrumentação suficiente, se há drenagem e respiro adequados, se as válvulas de segurança estão posicionadas corretamente.*
>
> *P&ID bem-feito antecipa problemas operacionais, por outro lado, se P&ID malfeito gera décadas de retrabalho.*

[5] ISA = International Society of Automation

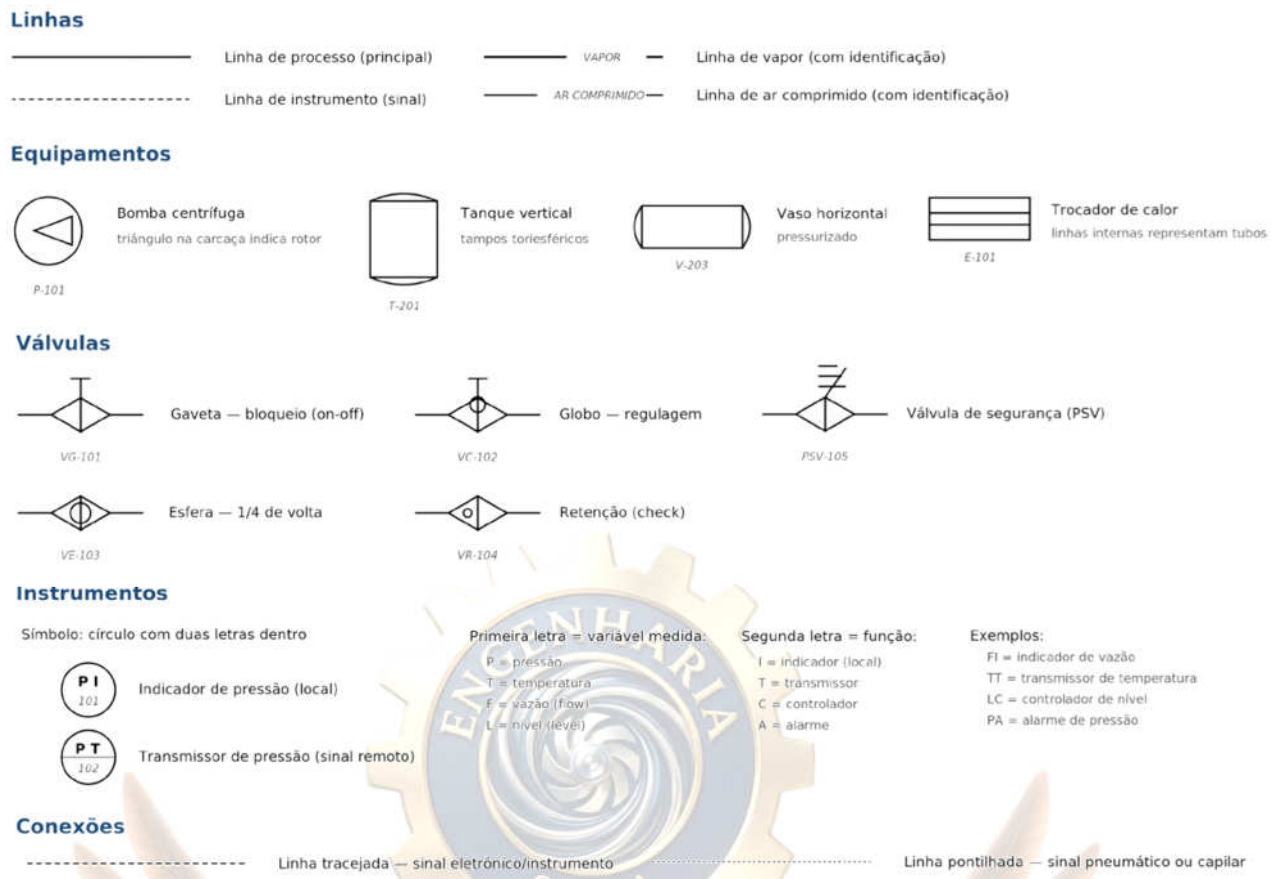


Figura 6: Alguns símbolos da norma ISA 5.1 (Fonte: Engenharia e Cia)

1.10.2. Exemplo

Logo abaixo, trazemos um exemplo da representação P&ID de uma instalação de bombeamento.

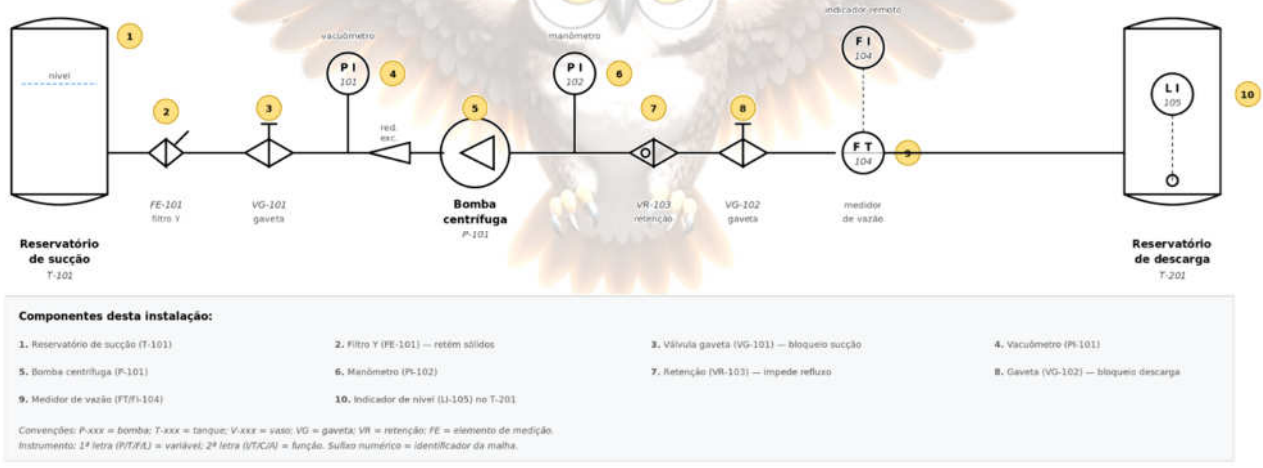


Figura 7: Exemplo de diagrama P&ID para uma instalação de bombeamento (Fonte: Engenharia e Cia)

Esta é uma instalação de bombeamento de líquido em configuração de transferência, na qual uma bomba centrífuga retira o fluido de um reservatório de origem e o entrega a um reservatório de destino.

A instalação tem dez componentes principais, organizados em três grandes regiões: lado de sucção (entrada da bomba), bomba propriamente dita, e lado de descarga (saída da bomba até o destino) que passaremos a explicar:

1.10.2.1. Lado da Sucção

- **1. Reservatório de Sucção (T-101):**
  É o ponto de origem do fluido. Trata-se de um tanque atmosférico, com indicação de nível mínimo, do qual a bomba aspira o líquido.

  O dimensionamento do tanque, a posição da tomada de sucção e o nível mínimo de operação têm impacto direto sobre o funcionamento da bomba.

  Em particular, a queda do nível pode reduzir a pressão disponível na entrada da bomba e levar à cavitação.
- **2. Filtro Y (FE-101):**
  Instalado imediatamente após a saída do tanque, retém os sólidos arrastados pela linha de sucção, como carepa de solda, areia, resíduos de juntas e ferrugem.

  Sua função é proteger os componentes internos da bomba (rotor, anéis de desgaste, selo mecânico) de desgaste prematuro.

  O filtro é peça de manutenção: deve ser limpo periodicamente, e seu diferencial de pressão deve ser monitorado, pois um filtro entupido reduz o NPSH disponível e pode causar cavitação.
- **3. Válvula gaveta de sucção (VG-101):**
  Válvula de bloqueio do tipo gaveta, permite isolar a bomba da linha de sucção para manutenção.

  Durante a operação normal permanece totalmente aberta. A escolha do tipo gaveta é deliberada: ela introduz perda de carga mínima quando aberta (Ks ≈ 0,15), preservando a pressão disponível na entrada da bomba.

  Por essa razão, não se deve usar válvulas globo na sucção, pois sua perda de carga seria proibitiva.
- **4. Vacuomanômetro (PI-101):**
  Mede a pressão na entrada da bomba. Em instalação afogada (bomba abaixo do nível), indica pressão tende a ser positiva, por outro lado, a instalação não-afogada (bomba acima do nível), indica vácuo.

  É um dos instrumentos mais informativos da instalação, pois sua variação ao longo do tempo é o melhor indicador de problemas incipientes na sucção: filtro entupindo, válvula vazando, perda de escorva, ou queda excessiva de nível no tanque.
- **Redução excêntrica:**
  Entre o vacuomanômetro e o bocal da bomba, faz a transição entre o diâmetro da linha de sucção e o diâmetro do bocal da bomba, que tipicamente é menor.

  A excentricidade fica voltada para baixo, mantendo o topo reto. Essa orientação evita a formação de bolsões de ar na parte superior da redução, que pode ser prejudicial à operação da bomba e afetar o pleno escorvamento.

1.10.2.2. Bomba

- **5. Bomba centrífuga (P-101):**
  É o coração da instalação. Recebe energia mecânica do motor elétrico e a transfere ao fluido, aumentando sua pressão e velocidade.

  Tudo na instalação tem como referência este equipamento: as linhas de sucção e descarga são especificadas em função dele, as válvulas de isolamento existem para permitir sua manutenção, os instrumentos monitoram sua operação, e os dispositivos de proteção (filtro, retenção) preservam sua integridade.

  O símbolo é um círculo com triângulo interno representando o rotor.

1.10.2.3. Lado da Descarga

- **6. Manômetro (PI-102):**
  Mede a pressão na saída da bomba. Em conjunto com o vacuomanômetro da sucção (PI-101), permite calcular a altura manométrica total que a bomba está efetivamente fornecendo.

  Esta é uma das medições operacionais mais importantes: variações na pressão de descarga indicam problemas como desgaste interno da bomba, mudança no ponto de operação, entupimento progressivo da linha, ou alteração da demanda de processo.
- **7. Válvula de retenção (VR-103):**
  Permite o escoamento apenas no sentido bomba → linha.

  Quando a bomba para, impede que o fluido pressurizado da linha de descarga retorne por ela.

  Sua principal função é protetiva: sem a retenção, o refluxo faria a bomba girar no sentido inverso (como turbina), podendo destruir o rotor, o selo mecânico e o motor.

  Esta válvula opera automaticamente, sem comando externo, apenas pela diferença de pressão entre os dois lados.
- **8. Válvula gaveta de descarga (VG-102):**
  Válvula de bloqueio principal da linha de descarga.

  Sempre instalada após a retenção (e nunca antes), permite isolar completamente a bomba para manutenção sem necessidade de drenar a linha.

  Em bombas centrífugas, esta válvula pode ser trocada por válvula de controle, como uma válvula globo, para controle da vazão.

  Na partida da bomba, ela é mantida total ou parcialmente fechada para não sobrecarregar o motor, e aberta gradualmente após a estabilização da rotação.
- **9. Medidor de vazão (FT-104 / FI-104):**
  Mede a vazão escoando pela linha. O símbolo no processo (FT-104, com linha horizontal no círculo) representa o transmissor: o sensor de vazão propriamente dito.

  O símbolo conectado acima por linha tracejada (FI-104) é o indicador remoto, instalado no painel de controle ou em sala de operação. A linha tracejada

simboliza o sinal eletrônico transmitido do sensor ao indicador. A vazão real entregue pelo sistema é a variável operacional mais importante, pois define se o processo a jusante está sendo atendido.

- **10. Reservatório de descarga (T-201):**
  Ponto de destino do fluido. Tem um indicador de nível (LI-105) com boia ou sensor, permitindo verificar se o tanque está sendo enchido conforme esperado, e acionar alarmes ou intertravamentos quando atinge nível alto ou baixo.

  A linha tracejada entre o LI-105 e o sensor inferior indica que se trata de um instrumento com transmissão de sinal interna.

1.10.2.4. Como o Sistema Opera

Em operação normal, com as válvulas de bloqueio (VG-101 e VG-102) totalmente abertas, a bomba P-101 mantém um fluxo contínuo entre os dois tanques. A vazão se estabelece no ponto onde a curva característica da bomba cruza a curva do sistema, isto é, no ponto em que a pressão fornecida pela bomba se iguala à pressão exigida pelo sistema (diferença de cota entre os reservatórios mais todas as perdas de carga nas tubulações, válvulas e acessórios).

Em condições de manutenção, o operador fecha primeiro a válvula VG-102 (descarga), depois desliga o motor da bomba, e por último fecha a VG-101 (sucção). A válvula de retenção VR-103 já estará fechada pelo cessar do fluxo. Com isso, a bomba fica isolada hidraulicamente e pode ser drenada, removida e mantida sem afetar o restante da instalação.

Em condições de partida, o procedimento inverte: garantir que a bomba está escorvada (cheia de líquido), abrir a VG-101 (sucção), abrir parcialmente a VG-102 (descarga) para reduzir a sobrecarga inicial do motor, energizar o motor, e completar a abertura da VG-102 após a bomba atingir rotação nominal.

1.10.2.5. Convenções de Identificação

Os tags seguem o padrão ISA-5.1. As letras iniciais antes do hífen indicam a categoria do componente:

- **P** = bomba (pump),
- **T** = tanque,
- **V** = vaso,
- **VG** = válvula gaveta,
- **VR** = válvula de retenção,
- **FE** = elemento de medição de vazão (flow element).

Os instrumentos seguem o padrão de duas letras dentro do círculo:

a primeira letra indica a variável medida (**P** pressão, **T** temperatura, **F** vazão, **L** nível) e a segunda letra indica a função (**I** indicador local, **T** transmissor remoto, **C** controlador, **A** alarme).

O número após o hífen identifica a malha ou o ponto de medição na planta.

1.10.3. Instalações Modulares (Skid Mounted)

Uma instalação modular, skid mounted, ou simplesmente skid (skid = patim, base) é o conjunto completo de bomba, tubulação, válvulas, acessórios e instrumentação montado em uma única estrutura metálica pré-fabricada.

A instalação inteira chega à planta como um único equipamento, pronta para conectar (alimentação de fluido, descarga, energia elétrica) e operar.

1.10.3.1. Vantagens

Entre os pontos mais positivos do skid, podemos citar

- Montagem feita em fábrica, com qualidade controlada e ambiente protegido.
- Testes (hidrostático, performance, alinhamento) feitos antes da expedição.
- Tempo de instalação em campo reduzido de semanas para dias.
- Padronização: skids replicáveis em múltiplos pontos da planta ou em diferentes plantas.
- Fácil substituição ou retrofit (skid trocado por outro mais novo sem interromper o resto da planta).

1.10.3.2. Aplicações típicas:

estações de dosagem química, sistemas de combate a incêndio, skids de pressurização para HVAC, casas de bomba modulares em saneamento, plataformas de petróleo (onde toda a operação é skid mounted por restrição de espaço), unidades farmacêuticas e bioprocessamento.

1.10.3.3. Limitação:

dimensão e peso. Skids são geralmente até cerca de 12 [m] × 3 [m] × 3 [m] por restrições de transporte rodoviário. Acima disso, montagem em campo.

1.10.4. Onde os Tipos de Bomba Entram

Como já mencionado, esta disciplina não trata das bombas em detalhe.

Mas o tipo de bomba influencia a instalação ao redor.

A tabela seguinte indica quais cuidados de instalação são típicos para cada família:

Tipo de bomba	O que a instalação precisa ter de específico
Centrífuga monoestágio	Filtro de sucção, válvula de retenção na descarga, recirculação mínima se operar com vazão muito variável, NPSHd > NPSHr com margem
Centrífuga multiestágio	Acima + sucção dimensionada com extrema atenção (NPSH crítico), retenção rápida ("slam"[6] é problema), instrumentação de vibração

[6] No universo das válvulas, "slam" (ou valve slam) é o fenômeno de fechamento brusco e violento de uma válvula, normalmente uma válvula de retenção, provocado pela inversão rápida do fluxo.

Tipo de bomba	O que a instalação precisa ter de específico
Submersível	Sem linha de sucção (a bomba está submersa). Crivo no bocal, válvula de retenção próxima ao topo do poço, válvula de bloqueio na superfície
Deslocamento positivo (pistão, êmbolo)	Amortecedor de pulso na descarga, eventualmente na sucção, válvula de alívio OBRIGATÓRIA na descarga (PSV ou PRV calibrada à pressão máxima admissível), câmara de amortecimento dimensionada
Deslocamento positivo (lóbulos, parafuso, engrenagens)	Válvula de alívio na descarga, fluxo geralmente mais suave que pistão (menos pulsação), tolerância a sólidos depende do tipo
Dosadora (diafragma, peristáltica)	Amortecedor de pulso para medição estável, válvula de contrapressão para manter linearidade da dosagem, calibração periódica

Observação: *Os tipos de bomba, suas curvas características, seleção e dimensionamento são tratados em módulos distintos.*

2. TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS E MATERIAIS

A tubulação industrial é o sistema de transporte do fluido, a "circulação sanguínea" da planta. Sua especificação correta é decisiva para a confiabilidade, a segurança e o custo de operação da instalação.

Erros de seleção de material, de bitola ou de espessura de parede comprometem a integridade mecânica, aceleram a corrosão, aumentam o consumo energético e podem levar a acidentes graves.

Este capítulo aborda os materiais de tubulação mais utilizados na indústria, seus padrões dimensionais, normas de referência, critérios de seleção e os princípios técnicos que sustentam cada escolha.

2.1. Classificação por Tipo de Fluido e Aplicação

O ponto de partida da especificação de qualquer tubulação é o fluido que ela vai transportar.

As características do fluido, tais como, estado físico, temperatura, pressão, corrosividade, abrasividade, presença ou não de sólidos, toxicidade, entre outros, determinam o material, a espessura de parede e as conexões adequadas.

2.1.1. Tubulação para Líquidos

Líquidos são fluidos incompressíveis na faixa operacional típica de instalações industriais. As tubulações para líquidos operam com velocidades relativamente baixas, entre 1 e 3,5 [m/s] (exceto em mineração que as velocidades podem ser maiores) e faixas de pressões de baixa a alta.

Os principais desafios das linhas de líquido são a corrosão interna (especialmente com água, ácidos e álcalis), a erosão por sólidos em suspensão e o golpe de aríete em sistemas com fechamento rápido de válvulas.

O critério dominante de seleção de material é a compatibilidade química com o fluido.

2.1.2. Tubulação para Gases

Gases são fluidos compressíveis. Sua massa específica varia com pressão e temperatura, o que exige atenção especial ao dimensionamento: a mesma vazão mássica ocupa volumes muito diferentes em pontos distintos da linha, conforme a pressão varia ao longo do percurso.

As velocidades em linhas de gás são significativamente maiores que em linhas de líquido, tipicamente entre 10 e 25 [m/s] para gases de processo e até 40 [m/s] para ar comprimido.

Essas velocidades elevadas aumentam as forças dinâmicas sobre suportes, curvas e conexões, exigindo suportação diferenciada e atenção à vibração e ao ruído.