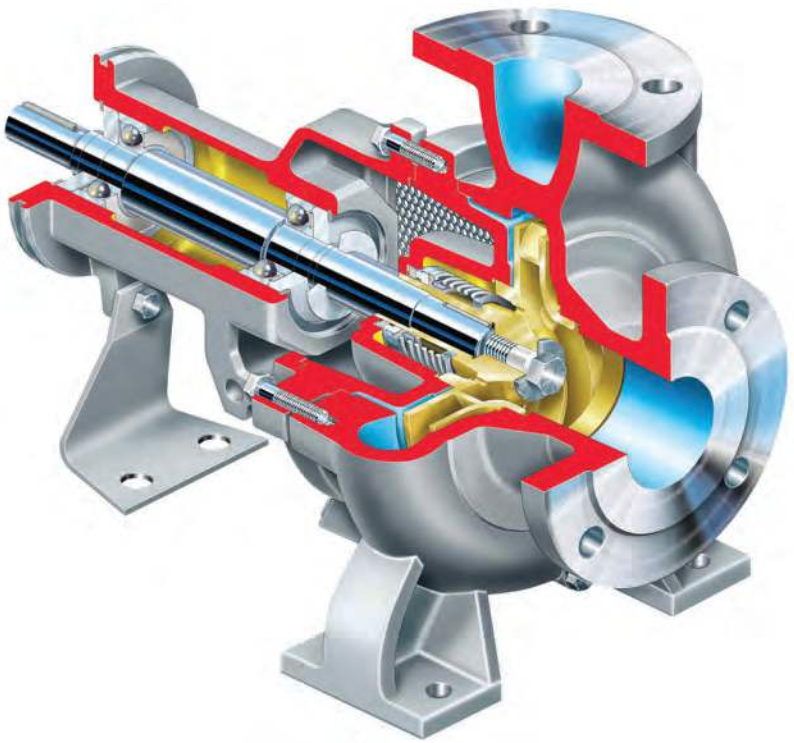
BOMBAS E INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS

António José da Anunciada Santos



2.ª Edição

engebook

AUTOR
António José da Anunciada Santos

TÍTULO
BOMBAS E INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS – 2.ª Edição

EDIÇÃO
Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.
Tel. 220 939 053 · E-mail: geral@quanticaeditora.pt · www.quanticaeditora.pt
Praça da Corujeira n.º 38 · 4300-144 PORTO

CHANCELA
Engebook – Conteúdos de Engenharia

DISTRIBUIÇÃO
Booki – Conteúdos Especializados
Tel. 220 104 872 · E-mail: info@booki.pt · www.booki.pt

APOIO
Alpha Engenharia · www.alphaengenharia.pt
Manutenção – Revista de Manutenção Industrial · www.revistamanutencao.pt

REVISÃO
Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

DESIGN
Delineatura – Design de Comunicação · www.delineatura.pt

IMPRESSÃO
Fevereiro, 2022

DEPÓSITO LEGAL
490057/21

A **cópia ilegal** viola os direitos dos autores.
Os prejudicados somos todos nós.

Copyright © 2022 | Todos os direitos reservados a Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.
A reprodução desta obra, no todo ou em parte, por fotocópia ou qualquer outro meio, seja eletrónico, mecânico ou outros, sem prévia autorização escrita do Editor e do Autor, e ilícita e passível de procedimento judicial contra o infrator.

Este livro encontra-se em conformidade com o novo Acordo Ortográfico de 1990, respeitando as suas indicações genéricas e assumindo algumas opções específicas.

CDU
621.22 Engenharia Mecânica. Máquinas hidráulicas

ISBN
Papel: 9789899017955
E-book: 9789899017962

Catalogação da publicação
Família: Engenharia Mecânica
Subfamília: Caldeiraria, Válvulas e Bomba

Capítulo 1. Conceitos base da mecânica de fluidos 11

1.1. Descrições sobre fluidos 13

1.2. Grandezas e unidades 15

1.3. Principais propriedades dos fluidos 17
1.3.1. Temperatura 17
1.3.2. Conceito de Pressão 18
1.3.3. Pressão de vapor 18
1.3.4. Massa específica e relativa 19
1.3.5. Peso específico 20
1.3.6. Viscosidade absoluta e relativa 21
1.3.7. Tensão superficial e efeito capilar 22
1.3.8. Propriedades da água e soluções glicoladas 24

1.4. Princípios e equações fundamentais 26
1.4.1. Hidrostática 26
1.4.1.1. Lei fundamental 26
1.4.1.2. Pressão, gradientes e manómetros 27
1.4.1.3. Princípio de Pascal 29
1.4.1.4. Princípio de Arquimedes 30
1.4.2. Equações fundamentais 31
1.4.2.1. Caudal volúmico e mássico 31
1.4.2.2. Princípio da conservação da massa 32
1.4.2.3. Equação de Bernoulli 33

1.5. Fundamentos do escoamento em tubos 36
1.5.1. Número de Reynolds e os escoamentos 36
1.5.2. Perfis de velocidades 37
1.5.3. Diâmetros e velocidades nas tubagens 38
1.5.4. Perdas de carga 39
1.5.4.1. Modelos de cálculo para tubos 39
1.5.4.2. Gráficos para tubos 44
1.5.4.3. Modelo de cálculo para acessórios 47
1.5.4.4. Tabelas de comprimento equivalente 50
1.5.5. Curvas características de uma instalação 52
1.5.5.1. Equação de Bernoulli generalizada 52
1.5.5.2. Sistemas fechados 52
1.5.5.3. Sistemas abertos 53
1.5.5.4. Modelo para representação da curva da instalação 54
1.5.5.5. Associação de tubos 55

Exercícios 57

Capítulo 2. Bombas 61

2.1. Descrição **63**

2.2. Tipos e classificações **63**
2.2.1. Bombas de deslocamento positivo 64
2.2.1.1. As alternativas 64
2.2.1.2. Rotativas 65
2.2.2. Turbobombas 67
2.2.2.1. Trajetória do fluido 67
2.2.2.2. Estrutura construtiva 70
2.2.2.3. Posicionamento em relação ao plano da água 72
2.2.2.4. Principais tipos de bombas centrífugas 73

2.3. Bomba Centrífuga **73**
2.3.1. Constituição 73
2.3.2. Funcionamento e teoria fundamental 75
2.3.3. Parâmetros e curvas características 79
2.3.3.1. Carga fornecida ao fluido 79
2.3.3.2.Rendimentos da bomba 82
2.3.3.3. Fenómeno de Cavitação, NPSH 84
2.3.3.4. Golpe de Ariete 87
2.3.3.5. Leis de semelhança e curvas em outras condições 89
2.3.4. Seleção da bomba 94
2.3.5. Associação de bombas e controlo 95
2.3.5.1. Associação paralela 95
2.3.5.2. Associação série 97
2.3.5.3. Ajuste do caudal na instalação 98
2.3.6. Cuidados de instalação, manutenção e deteção de avarias 100
2.3.6.1. Base de instalação 100
2.3.6.2. Instalação de tubagens 102
2.3.6.3. Acoplamentos e chapa 103
2.3.6.4. Manutenções e Avarias 105

Exercícios **108**

Capítulo 3. Instalações Hidráulicas 111

3.1. Descrição **113**

3.2. Instalações elevatórias **113**
3.2.1. Definição 113
3.2.2. Constituição típica 113
3.2.3. Aplicações 114
3.2.4. Bombagem de água em poços 115
3.2.4.1. Aquíferos 115
3.2.4.2. Poços pouco profundos 116

3.2.4.3. Poços profundos ... 121
3.2.5. Bombagem de água em edifícios ... 124
3.2.5.1. Tipos de pressurização ... 124
3.2.5.2. Centrais de elevação de pressão ... 125
3.2.5.3. Depósitos hidropneumáticos ... 129
3.2.6. Saneamento básico ... 131
3.2.6.1. Abastecimento de água ... 132
3.2.6.2. Esgotos ... 137

3.3. Instalações de água e esgotos em edifícios ... 140
3.3.1. Instalações de água fria ... 140
3.3.1.1. Depósitos de água ... 140
3.3.1.2. Elementos básicos ... 141
3.3.1.3. Caudais de água ... 143
3.3.1.4. Pressões e velocidades de serviço ... 147
3.3.2. Instalações de esgotos ... 148
3.3.2.1. Elementos básicos ... 148
3.3.2.2. Caudais de águas residuais ... 150

3.4. Instalações para águas quentes sanitárias (AQS) ... 151
3.4.1. Instalação com caldeira ... 151
3.4.2. Instalação com painéis solares ... 152
3.4.3. Caudais de água ... 153

3.5. Instalações para ar condicionado ... 155
3.5.1. Instalação para arrefecimento ... 155
3.5.2. Instalação para aquecimento ... 157
3.5.3. Caudais de água ... 158

3.6. Instalações de aquecimento central ... 162

Exercícios ... 163

Capítulo 4. Tubagens e Equipamentos para Instalações Hidraulicas ... 167

4.1. Descrição ... 169

4.2. Tubagens ... 170
4.2.1. Parâmetros característicos ... 170
4.2.2. Tubos de cobre ... 171
4.2.3. Tubos de aço ... 177
4.2.3.1. Tubos de aço negro e galvanizado ... 177
4.2.3.2. Tubos de aço inox ... 178
4.2.4. Tubos Plásticos ... 180

4.3. Válvulas e acessórios ... 181
4.3.1. Parâmetros característicos ... 182

4.3.2. Válvulas de corte e regulação 183
4.3.2.1. Válvula de gaveta 184
4.3.2.2. Válvula de macho 185
4.3.2.3. Válvula de esfera 185
4.3.2.4. Válvula de globo 186
4.3.2.5. Válvula de borboleta 188
4.3.2.6. Válvula de diafragma 189
4.3.3. Válvula antirretorno 189
4.3.4. Válvulas de segurança e alívio 191
4.3.5. Válvulas Redutoras de pressão 193
4.3.6. Válvulas Equilibradoras 193
4.3.7. Válvulas reguladoras de pressão diferencial 195
4.3.8. Válvulas de controlo 196
4.3.9. Ventosas e eliminadores de ar 197
4.3.10. Filtros e visores 198

4.4. Equipamentos térmicos 200
4.4.1. Caldeiras 200
4.4.2. Painéis solares térmicos 203
4.4.3. *Chiller* 208
4.4.4. Depósitos de acumulação térmica 209
4.4.5. Vasos de expansão 210

Referências CCXV

Índice de Figuras CCXIX

Índice de Tabelas CCXXIII

1.3.2. Conceito de Pressão

Em mecânica de fluidos, a pressão é uma das propriedades mais importantes, que, em conjunto com a velocidade, permite determinar o estado energético dos fluidos. Fisicamente, a pressão deriva da relação que existe entre a força e a área de atuação, sendo definida no SI, como a força de um Newton que atua perpendicularmente a uma superfície de um metro quadrado.

$$P\,(Pa) = \frac{F\,(N)}{A\,(m)^2}$$

Outras unidades usadas de interesse para a pressão são:
1 Pa = 1 × 10^{-5} Bar; 1 Pa = 0.98692 x 10^{-5} atm; 1 Pa = 0.10197 mmH_2O;
1 Pa = 0.00014504 PSI; 1 Pa = 1.0971 x 10^{-5} kg/cm^2.

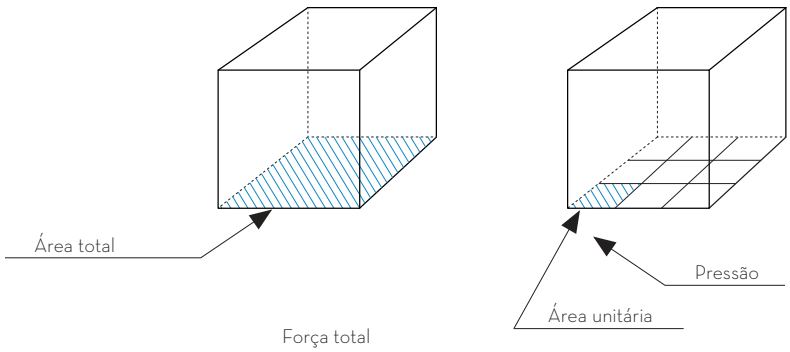


Figura 1.3. Pressão.
Fonte: Daikin

1.3.3. Pressão de vapor

Pelos princípios da termodinâmica sabe-se que, para as substâncias puras, existe uma relação entre a pressão e a temperatura para a mudança de estado físico dos fluidos. Para uma determinada temperatura existe um valor de pressão para a qual o fluido líquido se vai evaporar. Este valor recebe o nome de pressão de saturação, Ps, e aumenta com a temperatura dos fluidos. Quando num determinado recipiente apenas existir um líquido em equilíbrio termodinâmico com o seu vapor, isto é, a taxa de evaporação for igual à da condensação, o valor da pressão que reina sobre o líquido recebe o nome de pressão de vapor, Pv, e é igual à pressão de saturação do fluido, Ps, (Pv = Ps). Para o caso da água, para uma gama de temperaturas de 5 a 100ºC, pode ser usada a equação polinomial seguinte.

$$Ps = 10^{\left(\frac{7.5 \times T}{T + 273.15 - 35.85}\right) + 2.7858}$$

Onde:
Ps = Pressão de saturação da água, em Pa;
T = Temperatura de saturação, em ºC.

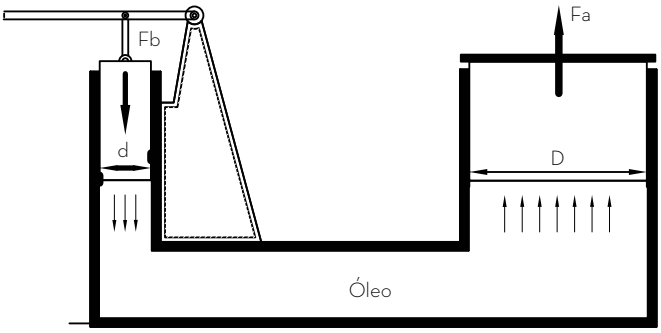


Figura 1.11. Aplicação do princípio de Pascal.

1.4.1.4. Princípio de Arquimedes

Um corpo sólido, quando é imerso no seio de um líquido, fica sujeito a valores de pressão diferentes ao longo da sua superfície, com valores mais baixos na superfície superior e mais altos na superfície inferior. Esta situação gera um campo de forças diferentes em torno do sólido que permite a sua elevação no seio do fluido.

Por exemplo, um sólido de área de superfície *A* com uma espessura *h*2, quando imerso a uma profundidade *h*1 na água, fica sujeito a uma força na sua superfície superior, *Fsup*, que o tende a empurrar para baixo:

$$Fsup = Ps \times A = \rho \times g \times h1 \times A$$

E a uma outra na sua superfície inferior, *Finf*, que o tende a empurrar para cima:

$$Finf = Pi \times A = \rho \times g \times (h1 + h2) \times A$$

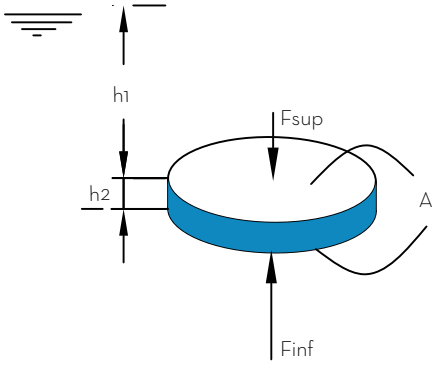


Figura 1.12. Forças hidrostáticas.

A resultante destas duas forças hidrostáticas é uma força de flutuação que tende a empurrar o corpo para cima:

$$Ff = Finf - Fsup = \rho f \times g \times (h1 + h2) \times A - \rho f \times g \times h1 \times A$$

$$Ff = \rho f \times g \times A \times [(h1 + h2) - h1] = \rho f \times g \times A \times h2 = \rho f \times g \times V$$

$$Ff = \rho f \times g \times V = \gamma \times V$$

1.5.2. Perfis de velocidades

Nos escoamentos laminares e estacionários no interior dos tubos em regiões completamente desenvolvidas, as partículas de fluido movem-se com velocidades constantes ao longo de linhas de corrente, sem aceleração. O perfil de velocidades deste género de escoamento tem uma configuração parabólica, com um máximo no eixo central, e um mínimo na parede do tubo (nulo). Um modelo matemático, que resulta de um balanço de forças a um elemento de volume, reproduz o perfil como uma função da velocidade média e das dimensões do tubo.

$$v(r) = 2 \times vm \times \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$$

Substituído no modelo anterior o r=0, obtém-se a velocidade máxima como sendo o dobro da velocidade média.

$$vmax(r) = 2 \times vm$$

Onde:
vm = Velocidade média, obtida pelo caudal de escoamento, em m/s;
r e *R* = Raios, em m.

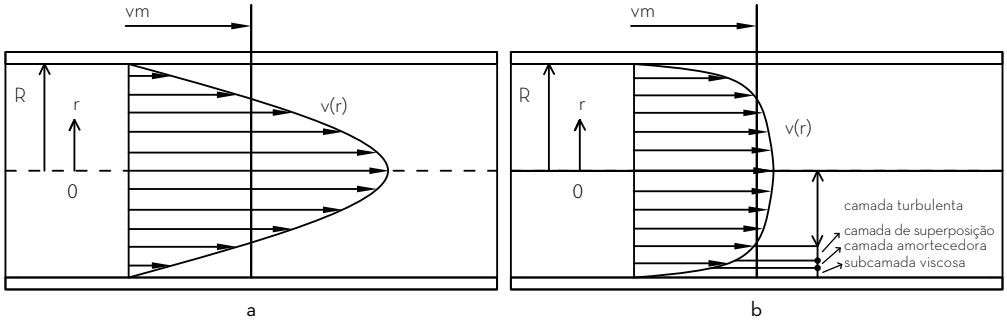


Figura 1.15. Perfis de velocidade de um escoamento completamente desenvolvido no interior de um tubo: **(a)** regime laminar; e **(b)** regime turbulento.

O escoamento turbulento no interior dos tubos tem um perfil de velocidades com uma geometria mais cheia que o laminar. Este é normalmente dividido em quatro regiões, onde são mais ou menos sentidos os efeitos viscosos. Uma primeira região junto à parede, chamada de subcamada viscosa, onde se faz sentir uma forte influência dos efeitos viscosos. O perfil próximo desta camada é do tipo linear. As duas camadas seguintes, amortecedora e de superposição, têm uma influência crescente dos efeitos de turbulência mas ainda existe um domínio dos efeitos viscosos. A camada turbulenta seguinte já tem um domínio por parte dos efeitos turbulentos. Um modelo empírico, conhecido como a lei da potência, permite reproduzir o perfil de velocidades para o escoamento turbulento completamente desenvolvido.

$$\frac{v}{vmax} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/n}$$

Onde o valor de expoente, n = 7, aproxima muito os escoamentos na prática.

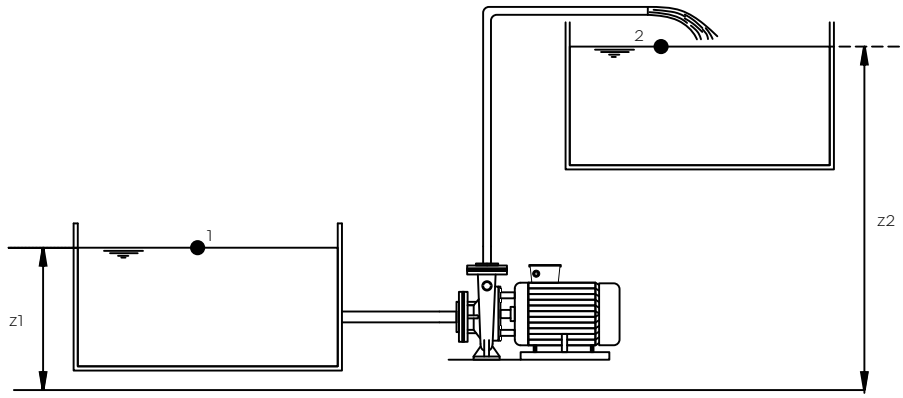


Figura 1.25. Sistema aberto do tipo elevatório.

1.5.5.4. Modelo para representação da curva da instalação

Uma forma simplificada para representar as curvas das instalações é com base no uso de uma constante característica, K, que representa as perdas de carga impostas pelos tubos e os componentes da instalação.

$$h_b = \begin{cases} Ki \times Q^2 & \text{se fechados} \\ (z2 - z1) + Ki \times Q^2 & \text{se abertos} \end{cases}$$

O valor de K é próprio de cada instalação e nele está contido toda a informação de perdas. Este parâmetro resulta de uma análise às perdas de carga feitas a uma instalação genérica a partir da equação de Darcy e do método das perdas menores dos K.

$$h_T = h_L + h_a = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} + \sum K \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

Substituindo na equação anterior a velocidade pelo caudal (v = Q/A), e depois de algum trabalho matemático, obtém-se:

$$h_T = \text{Ki} \times Q^2 ; \quad Ki = \frac{16}{2 \times g \times \pi \times D^4} \times f \times \left(\frac{L}{D} + \sum K \right)$$

Exemplo:

Considerando os dados da instalação dos exemplos anteriores com 100 metros de tubo de 1" (0.0254 metros) de diâmetro, um fator de atrito constante f = 0.0198, uma entrada e uma saída na tubagem, uma curva e uma válvula de globo aberta (∑K= 1.0 + 1.0 + 0.36 + 10 = 12.36), obtém-se um Ki de:

Exercício 1.3.

Escoamento de água com elevação

Sabendo que no exercício anterior a altura Z1 é de 8.8 metros, determinar a energia fornecida pela bomba, em metros, para encher o depósito de água, considerando os mesmos 4 L/s e uma velocidade de 2 m/s.

SOLUÇÃO

O diâmetro de cálculo e o fator de atrito mantêm-se nos mesmos valores que o exercício anterior.

$$D = 50mm,\ f = 0.027$$

As perdas de carga para a linha de aspiração e de descarga são:

Aspiração:
Comprimento do tubo = 5 + 4 = 9 m
Comprimento equivalente da válvula de pé = 3.44 m
Comprimento equivalente da curva de 90º = 0.79 m
Comprimento equivalente total = 9 + 3.44 + 0.79 = 13.23 m
Perda de carga na aspiração.

$$hT(m) = f \times \frac{L}{D} \times \frac{vm^2}{2 \times g} = 0.027 \times \frac{13.23}{0.050} \times \frac{2^2}{2 \times 9.8} = 1.46m$$

Descarga:
Comprimento do tubo = 10 + 8.8 = 18.8 m
Comprimento equivalente da saída = 1.97 m
Comprimento equivalente da curva de 90º = 0.79 m
Comprimento equivalente total = 18.8 + 1.97 + 0.79 = 21.56 m
Perda de carga na aspiração.

$$hT(m) = f \times \frac{L}{D} \times \frac{vm^2}{2 \times g} = 0.027 \times \frac{21.56}{0.050} \times \frac{2^2}{2 \times 9.8} = 2.38m$$

Perda total = 1.46 + 2.38 = 3.84 m

Altura a fornecer pela bomba:

$$hb(m) = (z2 - z1) + h_T = (8.8 + 4 - 0) + 3.84 = 16.64m$$

Estas máquinas são usadas sobretudo para a bombagem de pequenos caudais (por exemplo, de 2 a 2000 m³/h) e grandes alturas manométricas (por exemplo, de 6 a 4000 m). Por exemplo, na figura seguinte mostra-se uma bomba standard, em abastecimentos de água em instalações municipais e industriais; para pressurização em edifícios altos e industriais; transporte de líquidos em instalações industriais (aquecimento, refrigeração, ar condicionado, etc.); sistemas de rega, etc. A máquina movimenta caudais máximos de 1000 m³/h e alturas máximas de 160 metros. As temperaturas de líquido de trabalho vão de 25 a 120ºC e as pressões máximas de 16 bar.

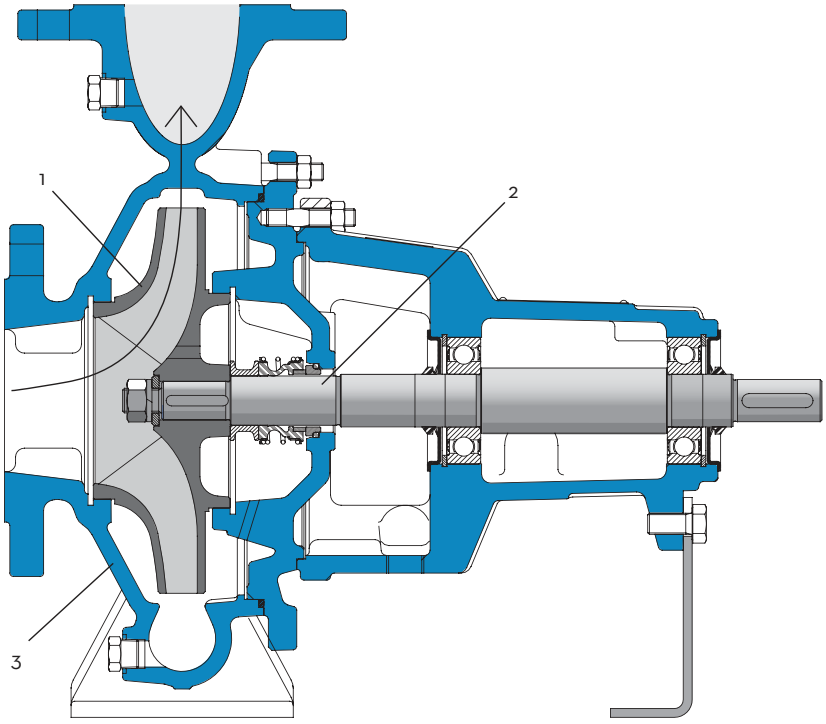


Figura 2.7. Bomba centrífuga com rotor radial. **1.** Rotor; **2.** Eixo; **3.** Difusor.
Fonte: Grundfos

Nas bombas de fluxo axial, o fluido entra e sai axialmente ao longo da parte externa da bomba. Internamente, o fluido entra paralelamente ao eixo e a trajetória vai-se transformando em hélices cilíndricas devido à configuração das pás do rotor, que assumem a forma de hélices. Neste caso não se consideram forças centrífugas puras devido à força centrífuga das pás não ser responsável pelo aumento da energia de pressão.

As bombas podem ter pás fixas ou ajustáveis automaticamente de forma a dar a inclinação adequada a cada descarga para garantir variações mínimas no rendimento. São usadas para a bombagem de grandes caudais (por exemplo, 200 a 100 000 m³/h) e pequenas alturas manométricas (por exemplo, 8 metros), como em situações de bombagem de água da chuva e inundações, drenagem, irrigação, bombagem de água bruta, bem como a bombagem em efluentes

são transportadas para regiões da bomba onde a pressão é mais alta, que causam o seu colapso. Isto causa ruídos, vibrações, redução da eficiência e danos nas pás do rotor. Para evitar esta situação deve-se garantir que a pressão local em todo o interior da bomba fique acima da pressão de vapor.

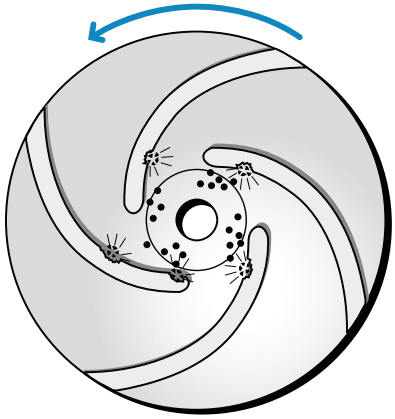


Figura 2.24. Cavitação.
Fonte: Grundfos

Os fabricantes avaliam os fenómenos de cavitação por meio de testes. Variam o caudal volúmico e a pressão na entrada de forma à ocorrência do fenómeno. Depois registam esta situação a partir do parâmetro NPSHb, ou carga de pressão positiva. Este define-se como a diferença entre a pressão de estagnação na entrada da bomba e a carga de pressão de vapor.

$$NPSH = \left[\frac{P}{\rho \times g} + \frac{v^2}{2 \times g} \right]_{entrada,\ bomba} - \frac{Pv}{\rho \times g}$$

No gráfico da figura seguinte apresenta-se os dados do NPSHb da bomba dos exemplos anteriores, onde se verifica que, para um caudal mássico de 110 m³/h, o NPSHb = 3.38 metros.

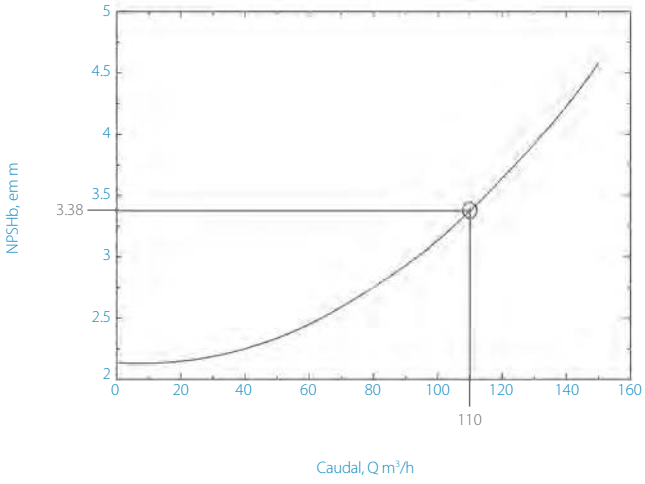


Figura 2.25. Curva do NPSH da bomba emitido por um fabricante.

Exercício 2.1.

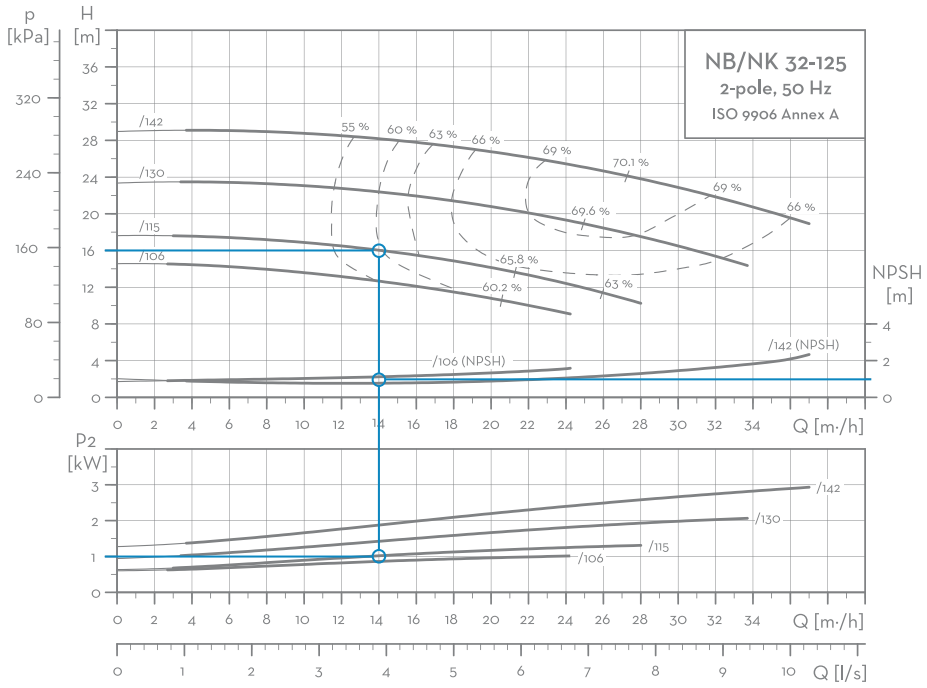
Seleção da bomba

Pretende-se selecionar uma bomba para encher um depósito de água que fica a uma altura de 8.8 metros (esquema do exercício 2 do capítulo 1). Sabe-se que o caudal de água é de 4 l/s (4 × 3600/1000 = 14 m^3/h), a velocidade de escoamento é 2 m/s e a altura manométrica a fornecer pela bomba é de 16.5 metros. Considerar a água a 20ºC.

SOLUÇÃO

Para esta solução uma bomba de estágio simples do tipo separada é a indicada. A identificação das condições de projeto no gráfico de curvas múltiplas anteriormente representado indica uma pré-seleção de uma bomba do tipo 32-125 1. A reapresentação das mesmas condições no gráfico específico da bomba indica que esta deverá ter um diâmetro de rotor de 115 milímetros. Nestas condições a bomba trabalha com um rendimento de 60% e com uma potência ao eixo de 1kW. Nestas condições, o NPSH da bomba é de 1 metro. Como o NPSHi da instalação é maior que o da bomba, não existe o perigo de cavitação.

$$NPSHi = \frac{Pb - Pv}{\gamma} - (z1 + h_f) = \frac{101325 - 2339}{9782.36} - (4 + 1.46) = 4.66m$$



Para além das medidas anteriormente referidas, devem ser levados em consideração outros cuidados na instalação da bomba. A instalação de uma camada de brita junto ao fundo é uma medida que evita a entrada de sólidos. Uma distância da instalação da bomba na horizontal de 4 metros até à boca do poço é uma outra medida que deve ser cumprida.

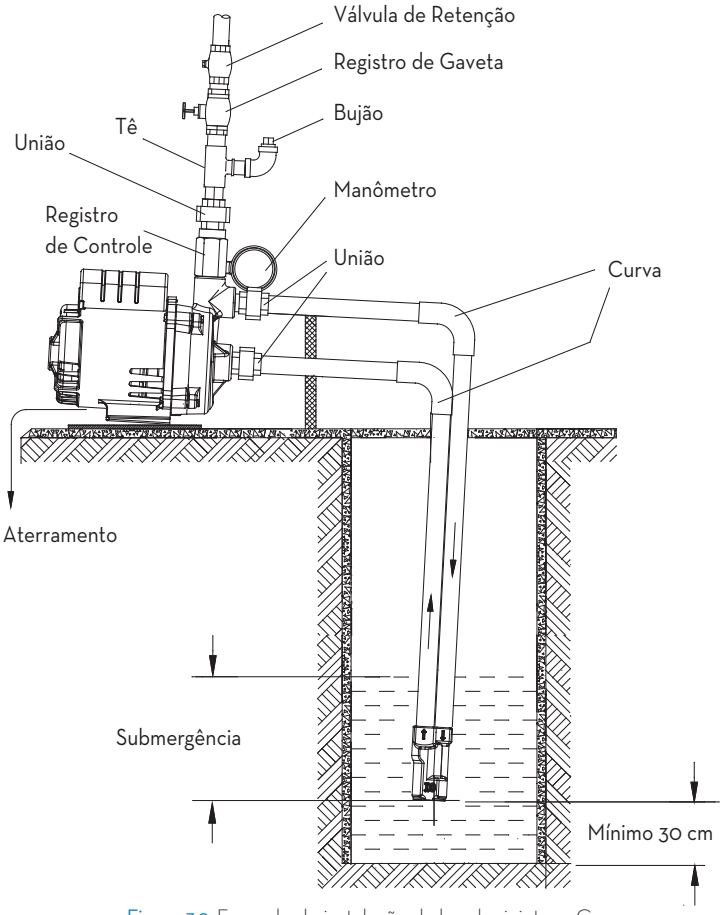


Figura 3.9. Exemplo de instalação de bomba injetora, C.
Fonte: Schneider

Exemplo:

Para bombear um caudal de 1.5 m^3/h de água de um poço semiartesiano com uma profundidade de 25 metros, um nível estático, NE, de 10 metros e um dinâmico, ND, de 15 metros, deve-se colocar o injetor com uma profundidade de 20 metros.

3.2.6.1. Abastecimento de água

Um sistema convencional de abastecimento de água a uma comunidade é composto fundamentalmente por: um sistema de captação com uma estação elevatória; uma estação de tratamento; uma estação elevatória de alto recalque.

Viu-se anteriormente que as fontes de origem para água de consumo humano podem ter uma origem subterrânea, por meio da abertura de poços profundos, galarias de minas, nascentes, ou uma origem superficial, por meio da captação de água em rios, lagos, barragens e, por vezes, também no mar.

Na captação da água em rios são usadas normalmente bombas de eixo vertical de rotor imerso (helicoidais) e nas descargas elevadas são usadas bombas hélico-axiais. Um exemplo de uma instalação de captação de água num rio é mostrado na figura seguinte. Esta é constituída por uma tubagem de betão, que serve para conduzir a água à chamada zona de poço, onde fica alojada a bomba de rotor imerso. O nível de água mínimo a ser considerado no processo das tomadas de água deverá ficar abaixo do menor nível de água observado no local da instalação.

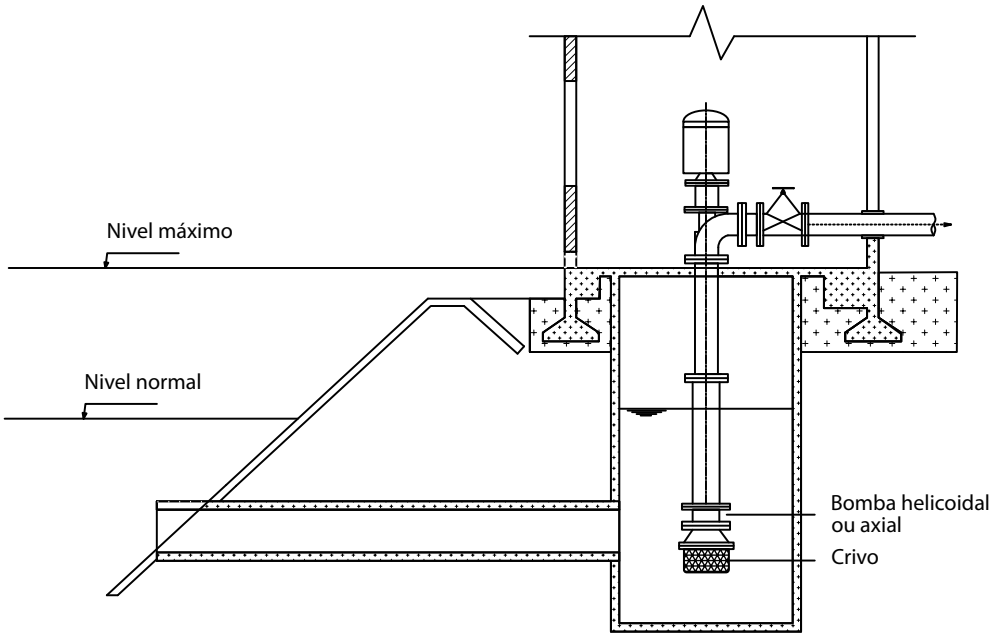


Figura 3.19. Esquema de princípio de captação de água num rio.
Fonte: Macintyre Joseph Archibald

Um exemplo de captação de água em um lago é mostrado na figura seguinte. Este é parecido ao anterior do rio, onde foi dispensada a tomada de acesso ao poço. Aqui existe um canal de tomada de água com uma grade de proteção, o que é possível nos casos em que não existe muito lodo. O nível de água mínimo deverá ser 1,0 metro acima do fundo do local da tomada de água.

utilizadores, que pode ser do tipo instantâneo ou com acumulação. Normalmente, em ambos os casos, seja com ou sem acumulação, existe um circuito primário que transporta a energia térmica até um circuito secundário ou de consumo, de onde a água vai ser aquecida e utilizada. O circuito primário transporta o fluido entre a caldeira e um permutador de calor, que no caso dos sistemas instantâneos, fica localizado no exterior, e a troca térmica realizada instantaneamente é usada para o consumo. No caso dos sistemas de acumulação, estes permutadores podem ficar localizados no interior de um depósito que vai acumular a energia térmica da água para o consumo posterior. Na figura anterior mostra-se um exemplo de um sistema com acumulação.

3.4.2. Instalação com painéis solares

As instalações solares térmicas têm o mesmo principio de transporte de energia térmica que as anteriores, sendo a caldeira substituída por um painel solar. Estes elementos transformam a energia radiante solar em energia de aquecimento de um fluido, que vai circular no primário da instalação. Estas instalações não são completamente autónomas, elas necessitam de uma energia de apoio, que vai compensar a carência solar para satisfazer as necessidades pretendidas. Esta energia de apoio pode ser elétrica por efeito de joule (uso de uma resistência) ou com uso às próprias caldeiras anteriormente referidas.

Tal como as instalações de caldeira, também as instalações solares podem ser do tipo individual ou também ditas de unifamiliares, em que existe um sistema de captação para um único utilizador, ou podem ser do tipo centralizado ou coletivas, onde existe um conjunto de painéis solares, localizados em local próprio, que captam a energia solar para vários utilizadores. Além da forma de captação ser individual ou centralizada, a forma como o fluido primário vai circular pelos painéis também constitui uma forma de classificar as instalações solares. Nas instalações em que o fluido primário circula pelos painéis de forma natural, apenas com recurso aos gradientes de temperatura que se forma ao longo da superfície de captação, as instalações chamam-se de termo sifão. Nas instalações em que o movimento do fluido pelo circuito primário é feito com recurso a bombas circuladoras, as instalações chamam-se de forçadas. Nas duas figuras seguintes mostram-se os esquemas de princípio de uma instalação com circulação forçada para aplicação individual e um outro coletivo também com circulação forçada.

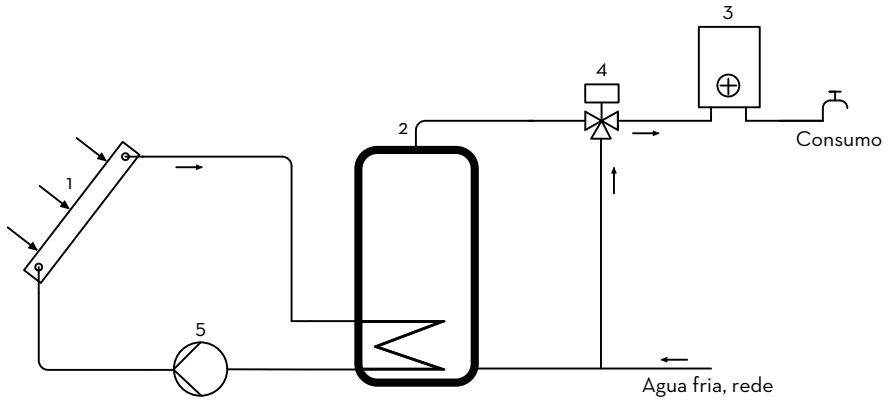


Figura 3.36. Esquema de princípio de Instalação solar individual do tipo forçado. **1.** Painel solar; **2.** Depósito de acumulação; **3.** Esquentador; **4.** Válvula de três vias; **5.** Bomba de circulação.

a união. Um tubo muito comprido, em relação ao desejado, introduz tensões que afetam o funcionamento da rede. A operação de corte deve ser feita com um corta tubos, com uma pressão não muito exagerada, para que estes não fiquem ovalizados, e também se deve evitar a entrada de impurezas (rebarbas) para o interior da rede, pois estas, para além de poderem circular no interior da instalação e poderem danificar e entupir certos elementos da rede, podem causar certas turbulências no fluido, que podem provocar corrosões e erosões na parede interna dos tubos.

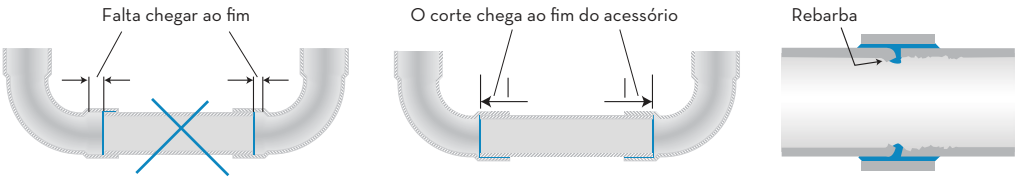


Figura 4.3. Resultado dos cortes em tubos de cobre.
Fonte: Manual de tubo cobre (Cedic)

A dobragem dos tubos pode ser feita com molas ou com dobra tubos próprios. Na tabela seguinte mostra-se os raios de curvatura para diferentes diâmetros de tubo.

Tabela 4.4. Medidas do tubo de cobre e raios de curvatura.
Fonte: Manual de tubo cobre (Cedic)

De (mm)	Ri (mm)	Ren (mm)
6	27	30
8	31	35
10	35	40
12	39	45
14	43	50
15	48	55
16	52	60
18	61	70

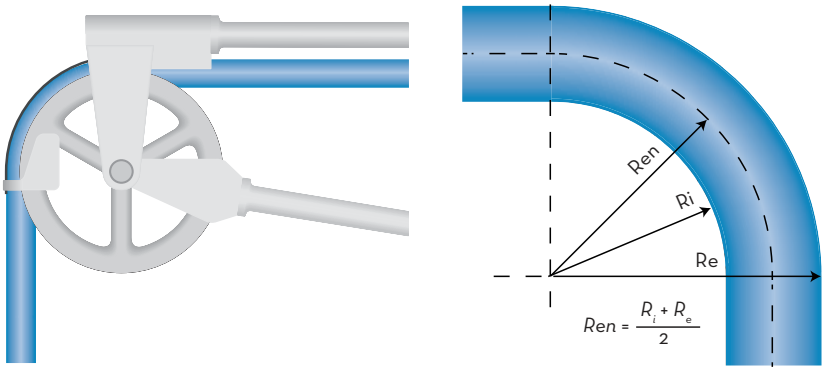


Figura 4.4. Curvatura de um tubo de cobre. **Ri.** Raio interior do tubo; **Re.** Raio exterior do tubo; **Ren.** Raio neutro.
Fonte: Manual de tubo cobre (Cedic)

Tabela 4.20. Tabela indicativa do coeficiente "n" com variação da temperatura "T", em relação à temperatura de 10ºC sem glicol.

TºC	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
n	0	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.7	2.3	2.9	3.6

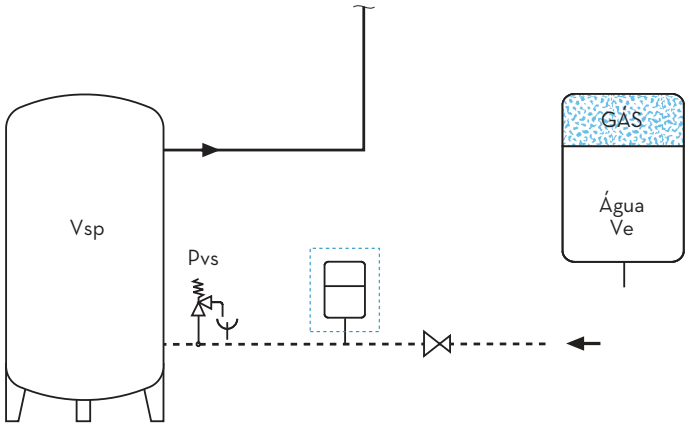


Figura 4.37. Exemplo de uso numa instalação de AQS.
Fonte: Caleffi

Exemplo:
Uma instalação de água quente com um volume de água aquecida num termoacumulador de 300 litros tem uma temperatura de água fria de 10ºC e de acumulação de 80ºC. Considerando que a pressão inicial no lado da água é de 3.5 bar obtém-se um valor da pressão absoluta no lado do gás de:

$$Pi = \text{Par} + Pa\,(1bar) = 3.5 + 1 = 4.5bar$$

Para uma regulação na válvula de segurança de 6 bar, a pressão final no lado do gás é de:

$$Pf = \text{Pvs} - 0.5 + Pa\,(1bar) = 6 - 0.5 + 1 = 6.5bar$$

Para a diferença de temperaturas entre a água aquecida no termoacumulador e a fria, o coeficiente de expansão é de:

$$e = \frac{nT2}{100} - \frac{nT1}{100} = \frac{2.9}{100} - \frac{0.1}{100} = 0.029 - 0.001 = 0.028$$

Com estas condições, o volume do vaso de expansão deve ser maior ou igual a:

$$V = \frac{e \times Ct}{1 - \frac{Pi}{Pf}} = \frac{0.028 \times 300}{1 - \frac{4.5}{6.5}} = \frac{8.4}{0.308} = 27.3\ litros$$

BOMBAS E INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS

2.ª Edição

António José da Anunciada Santos

Sobre a obra

Desde há longa data que o homem usa as bombas para fazer o transporte da água desde os locais de captação aos locais de consumo. Estas máquinas atualmente estão presentes em quase todas as instalações de transporte de fluidos líquidos, quer nos edifícios residenciais, como nos de comércio e serviços, indústria e agricultura.

O conhecimento das bases da mecânica de fluidos relacionados com o dimensionamento das tubagens, das bombas e instalações para o transporte de líquidos, bem como o conhecimento dos principais equipamentos associados, são temas de interesse para os técnicos do setor.

Direcionado para as bombas e suas aplicações no transporte de água e de energia, este livro, estruturado em quatro capítulos, segue temas que abrangem os conteúdos programáticos do ensino profissional, universitário, e exigências regulamentares para a certificação dos técnicos de manutenção e instalação em edifícios (TIM).

Este trabalho destina-se a todos os técnicos do setor, certificados ou não, aos estudantes do ensino profissional e superior, no apoio das disciplinas relacionadas com esta temática.

Sobre o autor

António José da Anunciada Santos licenciou-se em Engenharia Mecânica – ramo Térmica – pela Universidade do Algarve, em 2002, e obteve o Doutoramento no Departamento de Engenharia Energética e Mecânica de Fluidos, pela Universidade de Sevilha, em 2008, reconhecido em Portugal, em 2016, pela Universidade de Aveiro.

Em 2017 obteve o certificado de categoria I, no Centerm, para o manuseamento de gases fluorados com efeito de estufa de acordo com o Reg (UE) 2015/2067.

Trabalhou na fabricação e assistência técnica de móveis frigoríficos, na empresa Frimóvel, e como diretor técnico na área da refrigeração comercial e industrial na empresa Qualifrio. Trabalhou em projetos de investigação e desenvolvimento ligados às questões energéticas em edifícios (hotéis, edifícios residenciais e piscinas). Fez a reconstrução e exposição de uma bancada experimental didática para refrigeração e climatização na feira Educa Angola 2013 e participou no desenvolvimento de diversos cursos de formação no setor da refrigeração.

É Formador desde 1998 nas áreas da Eletricidade, Refrigeração e Ar Condicionado, com serviço prestado no Instituto do Emprego e Formação Profissional (IEFP), em Faro, no Instituto Médio Politécnico do Sambizanga, em Luanda, no Centro de Formação Profissional para a Industria Térmica, Energia e Ambiente (APIEF), na IXUS, Formação e Consultadoria, Lda. e na Academia de Formação da Rolear.

Publicou ainda vários artigos na ASME International Solar Energy Conference e na revista Tecnoalimentar, e os livros *O Frio no Setor Alimentar*, *Refrigeração – Manual de apoio ao ensino e à profissão (Volume I – Fundamentos e Volume II – Complementos)*, *Bombas e Instalações Hidráulicas*, *Princípios da Rega Agrícola* e *A Ventilação no Setor Agrícola*.

Apoio

Alpha ENGENHARIA

Manutenção
www.revistamanutencao.pt

Também disponível em formato *e-book*

ISBN: 978-989-901-795-5

www.**engebook**.pt

engebook