

Milton Tomoyuki Tsutiya

ABASTECIMENTO DE ÁGUA

**Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**

São Paulo
2004

Copyright © 2004 Milton Tomoyuki Tsutiya

Reservado todos os direitos de tradução e adaptação

É proibida a reprodução total ou parcial desta publicação,
sem o prévio consentimento do autor.

Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado, 83 – Cidade Universitária
05508-900 – São Paulo, SP
Telefone: (11) 3091.5396
Fax: (11) 3091.5423

Capa e Foto: Odair Marcos Faria

Tsutiya, Milton Tomoyuki
Abastecimento de água / Milton Tomoyuki Tsutiya
- 1ª edição - São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
XIII - 643 p.

Inclui referências bibliográficas.

ISBN 85-900823-6-9

1. Água. 2. Adutoras. 3. Elevatórias. 4. Reservatórios. 5. Rede. 6. Perdas. 7. Automação.

CDU 628.1

Impresso no Brasil/Printed in Brazil
Depósito Legal na Biblioteca Nacional conforme
Decreto nº 1825, de 20 de dezembro de 1907

SUMÁRIO

Capítulo 1 Abastecimento de Água

1.1. Introdução	1	1.4.2. Benefícios do abastecimento de água ao orçamento da União	6
1.2. Evolução dos sistemas de captação, transporte e distribuição de água de abastecimento	2	1.4.3. Maior cobertura do abastecimento de água, menos doenças	6
1.3. O abastecimento de água no Brasil	4	1.4.4. O fator educação	6
1.4. Os sistemas de abastecimento de água e a saúde pública	5	1.4.5. Confiabilidade dos sistemas de abastecimento de água	7
1.4.1. Benefícios do abastecimento de água à saúde pública	5	1.4.6. Flúor na água de abastecimento	7
		Referências bibliográficas	8

Capítulo 2 Concepção de Sistemas de Abastecimento de Água

2.1. Definição e objetivos	9	2.4.10. Estimativa de custo das alternativas propostas ...	14
2.2. Partes de um sistema de abastecimento de água	9	2.4.11. Análise das alternativas propostas	14
2.3. Normas para projetos de sistemas de abastecimento de água	10	2.4.12. Concepção escolhida	15
2.4. Estudo de concepção de sistema de abastecimento de água	11	2.5. Concepções de sistemas de abastecimento de água ...	15
2.4.1. Caracterização da área de estudo	11	2.5.1. Concepções de sistemas de abastecimento de água com captação em manancial superficial	15
2.4.2. Análise do sistema de abastecimento de água existente	11	2.5.2. Concepções de sistemas de abastecimento de água com captação em manancial subterrâneo ...	24
2.4.3. Levantamento dos estudos e planos existentes	11	2.6. Licenciamento ambiental de sistemas de abastecimento de água	31
2.4.4. Estudos demográficos e de uso e ocupação do solo	12	2.6.1. Considerações gerais	31
2.4.5. Critérios e parâmetros de projeto	12	2.6.2. Licença Prévia	32
2.4.6. Demanda de água	12	2.6.3. Licença de Instalação	33
2.4.7. Estudo de mananciais	12	2.6.4. Licença de Operação	33
2.4.8. Formulação das alternativas de concepção	13	2.6.5. Outros aspectos do licenciamento ambiental	34
2.4.9. Pré-dimensionamento das unidades dos sistemas considerados para a escolha da alternativa	13	Referências bibliográficas	34

Capítulo 3 Consumo de Água

3.1. Introdução	35	3.4. Fatores que afetam o consumo	50
3.2. Classificação de consumidores de água	35	3.5. Variações no consumo	51
3.2.1. Água para uso doméstico	36	3.5.1. Variações diárias	52
3.2.2. Água para uso comercial	36	3.5.2. Variações horárias	52
3.2.3. Água para uso industrial	43	3.5.3. Curvas de consumo de água	52
3.2.4. Água para uso público	46	Exercício 3.1	55
3.2.5. Modelos de previsão de consumo de água	47	3.6. Estudo da população	57
3.3. Consumo per capita de água	47	3.6.1. População da área de projeto	57
3.3.1. Determinação do consumo efetivo <i>per capita</i> e consumo <i>per capita</i> a partir da leitura dos hidrômetros	47	3.6.2. Métodos para o estudo demográfico	58
3.3.2. Leitura do medidor instalado na saída do reservatório	48	Exercício 3.2	62
3.3.3. Quando não existir medição	48	3.7. Vazões de dimensionamento das partes principais de um sistema de abastecimento de água	64
3.3.4. Valores do consumo médio efetivo <i>per capita</i> de água	49	Exercício 3.3	65
		Referências bibliográficas	65

Capítulo 4 Captação de Águas Superficiais

4.1. Introdução	67	4.3. Captação em cursos de água	77
4.2. Manancial superficial	67	4.3.1. Escolha do local de captação	77
4.2.1. Medidas de controle dos mananciais	68	4.3.2. Partes constituintes de uma captação	78
4.2.2. Qualidade da água	69	Exercício 4.1.	92
4.2.3. Seleção do manancial	74	4.4. Captação em represas e lagos	94
4.2.4. Estudos hidrológicos	74	Referências bibliográficas	99
4.2.5. Monitoramento da qualidade de água de mananciais	75		

Capítulo 5 Captação de Água Subterrânea

5.1. Águas subterrâneas e hidrogeologia	101	5.6.3. Localização do ponto de perfuração	119
5.2. Aspectos legais	102	5.6.4. Características técnicas de projeto	119
5.3. Formação geológica e aquífera	102	5.7. Operação e manutenção de poços	134
5.3.1. Rochas sedimentares	103	5.7.1. Considerações gerais	134
5.3.2. Rochas ígneas	103	5.7.2. Controle operacional	135
5.3.3. Rochas metamórficas	103	5.7.3. Problemas mais frequentes em poços	135
5.3.4. Distribuição da água no subsolo	103	5.7.4. Identificação da natureza do problema e das causas mais prováveis	136
5.3.5. Classificação dos aquíferos	104	5.7.5. Manutenção	140
5.3.6. Tipos de aquíferos	104	5.8. Especificação de conjunto motor-bomba para utilização em poços profundos	143
5.3.7. Pressões dos aquíferos	105	5.8.1. Generalidades	143
5.3.8. Comportamento horizontal dos aquíferos	107	5.8.2. Especificação do conjunto motor-bomba submerso	144
5.4. Hidráulica de poços	107	5.8.3. Características técnicas do conjunto motor-bomba submerso	145
5.4.1. Considerações gerais	107	5.9. Detalhes do cavalete de saída de poço tubular profundo	146
5.4.2. Definição de termos utilizados na hidráulica de poços	108	5.10. Extração de água de poços tubulares profundos	146
5.4.3. Fenômenos que se verificam num aquífero	109	5.10.1. Considerações gerais	146
5.5. Hidroquímica das águas subterrâneas	114	5.10.2. Sistemas de extração de água	148
5.5.1. Finalidade de uma análise	114	5.10.3. Aplicabilidade da solução	152
5.5.2. Normas gerais de amostragem d'água	115	Referências bibliográficas	153
5.5.3. Importância da análise química	116		
5.6. Avaliação hidrogeológica	118		
5.6.1. Demanda de projeto	118		
5.6.2. Estudo exploratório prévio	118		

Capítulo 6 Adutoras

6.1. Introdução	155	Exercício 6.1	170
6.2. Classificação das adutoras	156	6.6.2. Adutora por recalque	171
6.2.1. Quanto à natureza da água transportada	156	6.7. Materiais das adutoras	172
6.2.2. Quanto à energia para a movimentação da água	156	6.7.1. Considerações gerais	172
6.3. Vazão de dimensionamento	158	6.7.2. Principais materiais das tubulações	172
6.3.1. Horizonte de projeto	158	6.8. Acessórios das adutoras	175
6.3.2. Vazão de adução	158	6.8.1. Considerações gerais	175
6.3.3. Período de funcionamento da adução	158	6.8.2. Enchimento de adutoras	176
6.4. Hidráulica para adutoras	159	6.8.3. Descarga de adutoras	183
6.4.1. Equações gerais	159	6.8.4. Admissão de ar em adutoras	189
6.4.2. Equações para cálculo das perdas de carga	160	6.9. Dispositivos de proteção das adutoras	193
6.5. Traçado da adutora	163	6.9.1. Blocos de ancoragem	193
6.5.1. Traçado da adutora e a posição do plano de carga e a linha piezométrica	163	6.9.2. Proteção contra a corrosão	198
6.5.2. Recomendações para o traçado das adutoras	166	6.10. Limpeza e reabilitação das adutoras	203
6.5.3. Faixas de servidão ou desapropriação	167	6.10.1. Sedimentação	203
6.6. Dimensionamento hidráulico	167	6.10.2. Incrustação	203
6.6.1. Adutora por gravidade	167	6.10.3. Alternativas para aumentar a capacidade de adução	204
		6.11. Equipamentos de medição	209

6.11.1. Considerações gerais	209
6.11.2. Medidores em condutos forçados	209
6.11.3. Medidores em condutos livres	215
6.12. Intervenção em adutoras em carga	216
6.12.1. Considerações gerais	216
6.12.2. Processo tradicional	216

6.12.3. O novo processo	216
6.13. Obras especiais	218
6.13.1. Travessia de córregos e rios	218
6.13.2. Travessias sob ferrovias ou estradas de rodagem	222
Referências bibliográficas	223

Capítulo 7 Estações Elevatórias

7.1. Introdução	225
7.2. Componentes de uma estação elevatória	225
7.3. Bombas	226
7.3.1. Classificação das bombas	226
7.3.2. Bombas centrífugas	227
7.4. Motores elétricos	233
7.4.1. Motores de corrente alternada	233
7.4.2. Motor de indução	234
7.4.3. Métodos de comando de motores de indução	235
7.4.4. Características eletromecânicas dos motores elétricos de indução trifásicos	236
7.4.5. Variação da rotação de motores de indução	238
7.5. Seleção de conjuntos elevatórios	239
7.5.1. Bombas centrífugas	239
7.5.2. Seleção de motores	251
7.5.3. Número de conjuntos elevatórios	252
7.6. Sistema de controle de operação das bombas	252
7.7. Pannel de comando elétrico	252
7.8. Projeto de estações elevatórias de água	254
7.8.1. Localização das estações elevatórias	254
7.8.2. Vazões de projeto	255
7.8.3. Tipos de estações elevatórias	255
7.8.4. Poço de sucção	274
7.9. Tubulações e órgãos acessórios	290
7.9.1. Tubulação de sucção	290
7.9.2. Barrilete	291
7.9.3. Tubulações de recalque (adutora)	292

7.9.4. Órgãos acessórios	292
Exercício	301
7.10. Redução do custo de energia elétrica em estações elevatórias de água	304
7.10.1. Considerações gerais	304
7.10.2. Principais alternativas para a redução do custo de energia elétrica	304
7.11. Sistemas de automação de estações elevatórias de água	305
7.11.1. Considerações gerais	305
7.11.2. Projeto de sistemas de automação de estações elevatórias	306
7.11.3. Principais componentes de automação das estações elevatórias	313
7.12. Avaliação do custo de sistemas de bombeamento	317
7.13. Transitórios hidráulicos em estações elevatórias	318
7.13.1. Considerações gerais	318
7.13.2. Descrição do fenômeno	318
7.13.3. Fechamento instantâneo da válvula	318
7.13.4. Fechamento gradual da válvula	320
7.13.5. Equações básicas	321
7.13.6. Análise das equações	322
7.13.7. Método das características	323
7.13.8. Separação de coluna	324
7.13.9. Métodos e dispositivos para controle dos efeitos de golpe de aríete	325
Referências bibliográficas	335

Capítulo 8 Reservatórios de Distribuição de Água

8.1. Introdução	337
8.2. Classificação de reservatórios de distribuição	338
8.2.1. Localização do reservatório no sistema	338
8.2.2. Localização do reservatório no terreno	340
8.2.3. Formas de reservatórios	340
8.2.4. Material de construção dos reservatórios	350
8.3. Capacidade dos reservatórios	351
8.3.1. Determinação do volume útil para atender as variações do consumo de água	352
Exercício 8.1	357
8.3.2. Volume para combate a incêndios	364
8.3.3. Volume para emergência	364
8.3.4. Volume total de reservação	365
8.3.5. Volume de reservação utilizados na elaboração de projetos	365
8.3.6. Capacidade do reservatório elevado	365
Exercício 8.2	366
8.4. Vórtices em reservatórios	368
8.4.1. Métodos para controle de vórtices	368

8.4.2. Pesquisas em modelos físicos das saídas dos reservatórios	369
8.5. Tubulações e órgãos acessórios	370
8.5.1. Tubulação de entrada	370
8.5.2. Tubulação de saída	376
8.5.3. Extravasor	376
8.5.4. Ventilação	376
8.5.5. Acesso ao interior do reservatório	377
8.6. Detalhes construtivos	377
8.6.1. Fundações e laje de fundo	377
8.6.2. Paredes e cobertura	377
8.6.3. Drenos de fundos	377
8.6.4. Impermeabilização	379
8.7. Operação de reservatórios	379
8.7.1. Limites operacionais de segurança	381
8.7.2. Regras operacionais	383
8.7.3. Acidentes devido às falhas em reservatórios	384
Referências bibliográficas	386

Capítulo 9 Redes de Distribuição de Água

9.1. Introdução	389	Exercício 9.2	411
9.2. Tipos de rede	389	9.6. Roteiro básico para a elaboração de projetos de rede de distribuição de água	429
9.2.1. Rede ramificada	390	9.7. Materiais para redes	431
9.2.2. Rede malhada	391	9.7.1. Considerações gerais	431
9.2.3. Rede mista	394	9.7.2. Critérios para seleção dos materiais	432
9.2.4. Recomendações para o traçado da rede	394	9.7.3. Materiais dos tubos e peças	432
9.3. Alternativas para fornecimento de água para a rede	395	9.8. Órgãos e equipamentos acessórios	438
9.4. Vazão para dimensionamento	399	9.8.1. Válvula de manobra	439
9.5. Dimensionamento de redes	400	9.8.2. Válvula de descarga	440
9.5.1. Análise hidráulica	400	9.8.3. Ventosas	440
9.5.2. Pressões mínimas e máximas na rede	400	9.8.4. Válvula redutora de pressão	440
9.5.3. Velocidades mínimas e máximas	402	9.8.5. Válvula sustentadora de pressão	443
9.5.4. Diâmetro mínimo	403	9.8.6. Hidrante	443
9.5.5. Métodos de dimensionamento das redes	403	9.9. Dispositivos de proteção das redes	451
Exercício 9.1	404	Referências bibliográficas	455

Capítulo 10 Controle e Redução de Perdas

10.1. Introdução	457	10.7.7. Melhoria da qualidade dos materiais	503
10.2. Perdas em sistemas de abastecimento de água	458	10.7.8. Melhoria da qualidade da mão-de-obra na execução dos serviços e obras	504
10.2.1. Entendimento básico	458	10.7.9. Quadro geral	504
10.2.2. Balanço hídrico	460	10.8. Controle de perdas aparentes	505
10.3. Indicadores de perdas	464	10.8.1. Generalidades	505
10.3.1. Indicador percentual	465	10.8.2. Implantação e manutenção do sistema de macromedição	506
10.3.2. Índice de perdas por ramal	466	10.8.3. Melhoria da micromedição	507
10.3.3. Índice de perdas por extensão de rede	466	10.8.4. Combate às fraudes	509
10.3.4. Índice infra-estrutural de perdas	466	10.8.5. Melhorias no sistema comercial	509
10.3.5. Exemplo de aplicação dos indicadores	466	10.8.6. Qualificação da mão-de-obra	510
10.4. Perdas reais	467	10.8.7. Quadro geral	510
10.4.1. Vazamentos	467	10.9. Gerenciamento do controle de perdas	511
10.4.2. Extravasamentos	472	10.9.1. Considerações básicas	511
10.4.3. Avaliação de perdas reais	473	10.9.2. Estruturação de um programa de controle e redução de perdas	512
10.5. Perdas aparentes	479	10.9.3. Análise econômica	514
10.5.1. Erros dos medidores de vazão	479	10.10. Novas tecnologias utilizadas no controle e redução de perdas	520
10.5.2. Gestão comercial	484	10.10.1. Cartografia digital e sistemas de informações geográficas	520
10.5.3. Avaliação de perdas aparentes	485	10.10.2. Sistemas de supervisão e controle	520
10.6. Controle e redução de perdas	487	10.10.3. Armazenadores de dados de ruídos de vazamentos	521
10.6.1. Histórico	487	10.10.4. Tubos com baixo índice de vazamentos	522
10.6.2. Unidades de controle	487	10.10.5. Medição de vazões e volumes	522
10.6.3. Prazos	490	10.11. Considerações finais	522
10.7. Controle de perdas reais	490	Referências bibliográficas	523
10.7.1. Generalidades	490		
10.7.2. Controle ativo dos vazamentos	492		
10.7.3. Reparo de vazamentos	495		
10.7.4. Melhoria da condição da infra-estrutura	496		
10.7.5. Controle de pressão	498		
10.7.6. Controle de extravasamentos	502		

Capítulo 11 Ligações Prediais e Medidores

11.1. Introdução	527	11.2.4. Estrutura de medição de multi-usuário	537
11.2. Componentes da ligação predial	528	11.3. Hidrômetros	543
11.2.1. Dispositivo de tomada	528	11.3.1. Definição	543
11.2.2. Ramal predial	530	11.3.2. Classificação dos hidrômetros mais utilizados	543
11.2.3. Estrutura de medição de usuário individual	531		

11.3.3. Novas tecnologias de medição	547	11.3.7. Critérios para a escolha de hidrômetro	554
11.3.4. Principais documentos normativos relativos a hidrômetros	550	11.3.8. Ensaio e recebimento de hidrômetros	555
11.3.5. Definição de grandezas características de hidrômetros	550	Exercício	557
11.3.6. Curvas características de hidrômetros	554	11.3.9. Instalação de hidrômetros	558
		11.3.10. Manutenção de hidrômetros	559
		Referências bibliográficas	560

Capítulo 12 Uso Racional da Água

12.1. Introdução	561	12.5.8. Arejadores	568
12.2. Metodologia básica	563	12.6. Estudos de casos na Região Metropolitana de São Paulo	568
12.3. Ações alternativas para redução de consumo de água	564	12.7. Experiências sobre economia de água em outros países	568
12.4. Equipamentos economizadores de água	564	12.8. Medição individual de água em apartamentos	570
12.5. Aparelhos sanitários de baixo consumo de água	567	12.8.1. Considerações gerais	570
12.5.1. Bacias sanitárias	567	12.8.2. Vantagens da medição individualizada	571
12.5.2. Registro regulador de vazão	567	12.8.3. Projetos de instalações prediais de água fria para a medição individualizada de apartamentos	572
12.5.3. Fechamento automático hidromecânico	567	12.8.4. Esquemas básicos principais	574
12.5.4. Fechamento automático hidromecânico com sistema antivandalismo	568	12.8.5. Medição individualizada em edifícios antigos	574
12.5.5. Acionamento mecânico com os pés	568	Referências bibliográficas	575
12.5.6. Fechamento automático hidromecânico para deficientes	568		
12.5.7. Acionamento por presença	568		

Capítulo 13 Automação de Sistemas de Abastecimento de Água

13.1. Introdução	577	13.11.3. Sistemas mistos	596
13.2. O conceito de automação	577	13.12. Redes de automação	597
13.3. Características da automação	578	13.12.1. Arquitetura	597
13.4. Campo de aplicação	578	13.12.2. Redes para automação	599
13.5. Requisitos da automação	581	13.12.3. Protocolo	600
13.5.1. Requisitos do sistema de automação	581	13.12.4. Outros elementos do sistema	605
13.5.2. Requisitos do processo de fornecimento	581	13.13. Sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)	606
13.5.3. Plano de automação	583	13.13.1. Unidades Terminais Remotas (UTRs)	606
13.5.4. Estimativa de benefício versus custo	583	13.13.2. Comunicação	606
13.6. Controle de processos	584	13.13.3. Estação mestre	606
13.6.1. Processo	584	13.13.4. Alguns aspectos importantes para o projeto e desenvolvimento de um sistema SCADA	606
13.6.2. Controle	585	13.14. Aplicações da automação em sistemas de abastecimento de água	607
13.6.3. Técnicas de controle automático	586	13.14.1. Monitoramento da qualidade de água bruta captada	608
13.7. Controladores programáveis	588	13.14.2. Controle de bombeamento da água bruta	608
13.7.1. Definições	588	13.14.3. Controle do bombeamento de água tratada	609
13.7.2. Controlador Lógico Programável (CLP)	588	13.15. Estudos de casos	610
13.7.3. Características construtivas	589	13.15.1. Automação de sistemas produtores de água e tratamento de esgotos - Aqualog	610
13.7.4. Arquitetura básica	590	13.15.2. Automação de poços profundos na Unidade de Negócio do Vale do Paraíba da SABESP	617
13.8. Instrumentação	591	13.15.3. Controle da distribuição de água através de sistemas informatizados de supervisão e comando a distância na Unidade de Negócio Pardo e Grande da SABESP: alguns resultados práticos	622
13.8.1. Instrumentação digital	591	13.15.4. Sistema de Controle da Operação de Adução da Região Metropolitana de São Paulo - SCOA	628
13.8.2. Instrumentação analógica	591	Referências bibliográficas	643
13.9. Atuadores ou acionamentos	591		
13.9.1. Atuadores ou elementos finais	591		
13.9.2. Acionamentos elétricos	591		
13.9.3. Acionamentos hidráulicos e pneumáticos	592		
13.10. Entradas e saídas	592		
13.10.1. Entradas	592		
13.10.2. Saídas	593		
13.10.3. Outras entradas e saídas	594		
13.10.4. Ligações de entradas e saídas	594		
13.11. Sistemas de controle distribuídos	594		
13.11.1. Evolução tecnológica dos sistemas de controle	594		
13.11.2. Controle baseado em PC	595		