

# Sumário

## Hidráulica para Engenharia Civil e Ambiental

Sumário

Agradecimentos v

Prefácio vii

Uma Breve História da Hidráulica ix

Notas Introdutórias xi

Principais Símbolos xv

Parte I

Princípios e Aplicações Básicas

1 Hidrostática

.....2

1.1 PRESSÃO

.....2

1.2 MEDIÇÃO DA PRESSÃO

.....4

1.3 FORÇAS DE PRESSÃO EM CORPOS SUBMERSOS

.....7

1.4 FLUTUAÇÃO

..... 12

1.5 RESUMO

..... 17

PROBLEMAS PARA RESOLVER

..... 17

2 Princípios do Escoamento de Fluidos

..... 21

2.1 INTRODUÇÃO

..... 21

2.2 CLASSIFICAÇÕES DOS ESCOAMENTOS

..... 22

|  |    |
|--|----|
| 2.3 VISUALIZAÇÕES DE PADRÕES DE ESCOAMENTO                           | 23 |
| 2.4 EQUAÇÕES FUNDAMENTAIS DA DINÂMICA DOS FLUIDOS                    | 24 |
| 2.5 APLICAÇÕES DAS LEIS DE CONSERVAÇÃO AO ESCOAMENTO DE FLUIDOS      | 25 |
| 2.6 APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DA ENERGIA                                  | 31 |
| 2.7 APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO                  | 34 |
| 2.8 MEDIDA DA VELOCIDADE E DA VAZÃO                                  | 40 |
| 2.9 ESCOAMENTOS POTENCIAIS   | 43 |
| 2.10 ALGUNS PADRÕES DE ESCOAMENTO TÍPICOS                            | 47 |
| 2.11 RESUMO  | 55 |
| PROBLEMAS PARA RESOLVER  |    |
| 55   |    |
| 3 Comportamento dos Fluidos Reais                                    | 57 |
| 3.1 FLUIDOS REAIS E IDEAIS   | 57 |
| 3.2 ESCOAMENTO VISCOSO   | 58 |
| 3.3 ESTABILIDADE DOS ESCOAMENTOS LAMINARES E O INÍCIO DA TURBULÊNCIA | 60 |
| 3.4 AÇÃO DE CISLHAMENTO EM ESCOAMENTOS TURBULENTOS                   | 63 |
| 3.5 CAMADA-LIMITE  | 66 |
| 3.6 ALGUMAS IMPLICAÇÕES DO CONCEITO DE CAMADA-LIMITE                 | 73 |
| 3.7 CAVITAÇÃO  | 76 |
| 3.8 EFEITOS DA TENSÃO SUPERFICIAL                                    | 76 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.9 RESUMO   |     |
| .....  |     |
| .....  | 77  |
| PROBLEMAS PARA RESOLVER  |     |
| .....  |     |
| 77   |     |
| 4 Escoamento em Tubos e Conduitos Fechados   |     |
| .....  | 78  |
| 4.1 INTRODUÇÃO   |     |
| .....  |     |
| .....  | 78  |
| 4.2 CONTEXTO HISTÓRICO   |     |
| .....  |     |
| 79   |     |
| 4.3 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DO ESCOAMENTO EM TUBULAÇÕES                               |     |
| .....  | 80  |
| 4.4 ESCOAMENTO LAMINAR   |     |
| .....  | 83  |
| 4.5 ESCOAMENTO TURBULENTO  |     |
| .....  | 85  |
| 4.6 PERDAS DE CARGA LOCALIZADAS  |     |
| .....  | 93  |
| 4.7 TUBOS PARCIALMENTE CHEIOS  |     |
| .....  | 97  |
| 4.8 RESUMO   |     |
| .....  |     |
| .....  | 101 |
| PROBLEMAS PARA RESOLVER  |     |
| .....  |     |
| 101  |     |
| 5 Escoamento em Canais Abertos   |     |
| .....  | 103 |
| 5.1 ESCOAMENTO COM SUPERFÍCIE LIVRE  |     |
| .....  | 103 |
| 5.2 CLASSIFICAÇÃO DOS ESCOAMENTOS  |     |
| .....  | 104 |
| 5.3 CANAIS NATURAIS E ARTIFICIAIS E SUAS PROPRIEDADES                                |     |
| .....  | 104 |
| 5.4 DISTRIBUIÇÃO DA VELOCIDADE, COEFICIENTES DE ENERGIA E DE QUANTIDADE DE MOVIMENTO |     |
| .....  | 106 |
| 5.5 ESCOAMENTOS LAMINAR E TURBULENTO   |     |
| .....  | 107 |
| 5.6 ESCOAMENTO UNIFORME  |     |
| .....  | 108 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.7 ESCOAMENTO RAPIDAMENTE VARIADO: USO DOS PRINCÍPIOS DA ENERGIA                 | 116 |
| 5.8 ESCOAMENTO RAPIDAMENTE VARIADO: USO DOS PRINCÍPIOS DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO | 125 |
| 5.9 MEDIDORES DE PROFUNDIDADE CRÍTICA   | 128 |
| 5.10 ESCOAMENTO GRADUALMENTE VARIADO  | 131 |
| 5.11 ESCOAMENTO TRANSIENTE  | 148 |
| 5.12 RESUMO   | 150 |
| PROBLEMAS PARA RESOLVER   | 151 |
| 6 Surtos de Pressão em Tubulações   | 153 |
| 6.1 INTRODUÇÃO  | 153 |
| 6.2 EFEITO DO FECHAMENTO "BRUSCO" DA VÁLVULA                                      | 155 |
| 6.3 ESCOAMENTO TRANSIENTE COMPRESSÍVEL  | 156 |
| 6.4 ANÁLISE DE PROBLEMAS MAIS COMPLEXOS   | 163 |
| 6.5 OBSERVAÇÕES FINAIS  | 165 |
| 6.6 RESUMO  | 165 |
| PROBLEMAS PARA RESOLVER   | 165 |
| 7 Máquinas Hidráulicas  | 167 |
| 7.1 CLASSIFICAÇÃO DAS MÁQUINAS  | 167 |
| 7.2 BOMBAS DE FLUXO CONTÍNUO  | 168 |
| 7.3 DADOS DE DESEMPENHO DE BOMBAS DE FLUXO CONTÍNUO                               | 172 |

|  |     |
|--|-----|
| 7.4 SELEÇÃO DA BOMBA   |     |
| .....  |     |
| 173  |     |
| 7.5 TURBINAS PARA ENERGIA HIDRELÉTRICA                                   |     |
| .....  | 174 |
| 7.6 SELEÇÃO DA TURBINA   |     |
| .....  |     |
| 176  |     |
| 7.7 CAVITAÇÃO EM MÁQUINAS HIDRÁULICAS                                    |     |
| .....  | 176 |
| 7.8 RESUMO   |     |
| .....  |     |
| 177  |     |
| PROBLEMAS PARA RESOLVER  |     |
| .....  |     |
| 177  |     |
| 8 Teoria das Ondas   |     |
| .....  |     |
| .....  | 179 |
| 8.1 MOVIMENTO DAS ONDAS  |     |
| .....  | 179 |
| 8.2 TEORIA LINEAR DE ONDAS   |     |
| .....  | 182 |
| 8.3 PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO E ATENUAÇÃO DAS ONDAS                     |     |
| .....  | 188 |
| 8.4 PROCESSOS DA ZONA DE ARREBENTACÃO                                    |     |
| .....  | 204 |
| 8.5 ANÁLISE DOS REGISTROS DE ONDAS: ESTATÍSTICA DAS ONDAS EM CURTO PRAZO |     |
| .....  | 212 |
| 8.6 PREVISÃO DAS ONDAS COM BASE NOS REGISTROS DO VENTO                   |     |
| .....  | 222 |
| 8.7 ESTATÍSTICAS DAS ONDAS EM LONGO PRAZO                                |     |
| .....  | 227 |
| 8.8 PREVISÃO DE NÍVEIS EXTREMOS DE ÁGUAS PARADAS                         |     |
| .....  | 231 |
| 8.9 RESUMO   |     |
| .....  |     |
| .....  | 233 |
| PROBLEMAS PARA RESOLVER  |     |
| .....  |     |
| 233  |     |
| 9 Transporte de Sedimentos   |     |
| .....  | 236 |
| 9.1 INTRODUÇÃO   |     |
| .....  |     |
| .....  | 236 |

|  |     |
|--|-----|
| 9.2 IMINÊNCIA DE MOVIMENTO   | 238 |
| 9.3 DESCRIÇÃO GERAL DA MECÂNICA DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS                        | 242 |
| 9.4 EQUAÇÕES DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS   | 246 |
| 9.5 OBSERVAÇÕES FINAIS SOBRE O TRANSPORTE DE SEDIMENTOS                            | 255 |
| 9.6 RESUMO   | 256 |
| PROBLEMAS PARA RESOLVER  | 256 |
| 10 Hidrologia de Cheias  | 258 |
| 10.1 CLASSIFICAÇÕES  | 258 |
| 10.2 MÉTODOS DE PREVISÃO DE CHEIAS EM BACIAS DE DRENAGEM RURAIS                    | 259 |
| 10.3 CARACTERÍSTICAS DESCRITIVAS DA BACIA HIDROGRÁFICA                             | 259 |
| 10.4 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA   | 261 |
| 10.5 MODELAGEM CHUVA-VAZÃO   | 273 |
| 10.6 RESUMO DOS PROCEDIMENTOS DE CHEIA DE PROJETO PARA BACIAS HIDROGRÁFICAS RURAIS | 286 |
| 10.7 PROPAGAÇÃO DE CHEIAS  | 286 |
| 10.8 CHEIAS DE PROJETO PARA A SEGURANÇA DOS RESERVATÓRIOS                          | 295 |
| 10.9 MÉTODOS DE PREVISÃO DE CHEIAS EM BACIAS URBANAS                               | 296 |
| 10.10 IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA HIDROLOGIA DE CHEIAS                     | 301 |
| 10.11 RESUMO   | 301 |
| PROBLEMAS PARA RESOLVER  | 302 |

|   |     |
|---|-----|
| 11 Análise Dimensional e Teoria dos Modelos Físicos .....             | 305 |
| 11.1 INTRODUÇÃO .....   | 305 |
| 11.2 IDEIA DE 'SEMELHANÇA' .....                                      | 306 |
| 11.3 HOMOGENEIDADE DIMENSIONAL E SUAS IMPLICAÇÕES .....               | 306 |
| 11.4 ANÁLISE DIMENSIONAL .....  | 307 |
| 11.5 ANÁLISE DIMENSIONAL ENVOLVENDO MAIS VARIÁVEIS .....              | 310 |
| 11.6 APLICAÇÕES DA SEMELHANÇA DINÂMICA .....                          | 311 |
| 11.7 MODELOS HIDRÁULICOS .....  | 316 |
| 11.8 RESUMO .....   | 323 |
| PROBLEMAS PARA RESOLVER .....   | 324 |
| Parte II  |     |
| Aspectos da Engenharia Hidráulica                                     |     |
| 12 Sistemas de Tubulações .....                                       | 326 |
| 12.1 INTRODUÇÃO .....   | 326 |
| 12.2 PROJETO DE UM SISTEMA DE TUBULAÇÃO SIMPLES .....                 | 326 |
| 12.3 SISTEMAS DE TUBULAÇÕES EM SÉRIE, EM PARALELO E RAMIFICADOS ..... | 329 |
| 12.4 SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO .....                                   | 331 |
| 12.5 PROJETO DE ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO .....                         | 336 |
| 12.6 PROTEÇÃO CONTRA SURTOS .....                                     | 340 |
| 12.7 RESUMO .....   | 345 |

|   |     |
|---|-----|
| 13 Estruturas Hidráulicas                                   |     |
| .....   |     |
| 346   |     |
| 13.1 INTRODUÇÃO   |     |
| .....   |     |
| .....346  |     |
| 13.2 VERTEDORES DE CHAPA FINA (SOLEIRA DELGADA)             |     |
| .....   | 347 |
| 13.3 VERTEDORES DE BASE LONGA                               |     |
| .....   | 353 |
| 13.4 CALHAS DE MEDIÇÃO                                      |     |
| .....   |     |
| 356   |     |
| 13.5 VERTEDORES-EXTRAVASORES                                |     |
| .....   | 361 |
| 13.6 VERTEDORES-EXTRAVADORES ESCALONADOS                    |     |
| .....   | 370 |
| 13.7 DISSIPADORES DE ENERGIA                                |     |
| .....   | 371 |
| 13.8 COMPORTAS DE CONTROLE                                  |     |
| .....   | 373 |
| 13.9 ESTRUTURAS DE DERIVAÇÃO LATERAL                        |     |
| .....   | 377 |
| 13.10 ESTRUTURAS DE DESCARGA                                |     |
| .....   | 381 |
| 13.11 RESUMO  |     |
| .....   |     |
| ..... 381   |     |
| 14 Hidráulica Computacional                                 |     |
| .....   | 383 |
| 14.1 VISÃO GERAL  |     |
| .....   |     |
| .....383  |     |
| 14.2 MODELOS MATEMÁTICOS E MODELOS NUMÉRICOS                |     |
| .....   | 384 |
| 14.3 DEDUÇÃO DAS EQUAÇÕES DE CONSERVAÇÃO                    |     |
| .....   | 385 |
| 14.4 EQUAÇÕES DIFERENCIAIS E ESQUEMAS DE DIFERENÇAS FINITAS |     |
| .....   | 388 |
| 14.5 CONDIÇÕES DE CONTORNO E CONDIÇÕES INICIAIS             |     |
| .....   | 392 |
| 14.6 APLICAÇÕES DA HIDRÁULICA COMPUTACIONAL                 |     |
| .....   | 393 |
| 14.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS                                   |     |
| .....   | 410 |



|   |     |
|---|-----|
| 14.8 RESUMO   |     |
| .....   |     |
| ..... 411   |     |
| 15 Engenharia de Rios e Canais  | 412 |
| .....   |     |
| 15.1 INTRODUÇÃO   |     |
| .....   |     |
| ..... 412   |     |
| 15.2 OTIMIZAÇÃO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE UM CANAL                                  |     |
| ..... 412   |     |
| 15.3 CANAIS NÃO REVESTIDOS  | 414 |
| .....   |     |
| 15.4 PROJETO DE CANAIS ALUVIAIS ESTÁVEIS  | 416 |
| .....   |     |
| 15.5 MORFOLOGIA DOS CANAIS NATURAIS   | 420 |
| .....   |     |
| 15.6 MODELAGEM COMPUTACIONAL DE RIOS  | 423 |
| .....   |     |
| 15.7 VAZÕES DE CHEIA EM CANAIS DE SEÇÃO COMPOSTA                                  | 429 |
| .....   |     |
| 15.8 ENGENHARIA FLUVIAL   |     |
| .....   |     |
| 434   |     |
| 15.9 RESUMO   |     |
| .....   |     |
| .....437  |     |
| 16 Engenharia Costeira  |     |
| .....   |     |
| 439   |     |
| 16.1 INTRODUÇÃO   |     |
| .....   |     |
| .....439  |     |
| 16.2 AÇÃO DE ONDAS EM PRAIAS  | 440 |
| .....   |     |
| 16.3 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS   | 440 |
| .....   |     |
| 16.4 MODELAGEM DA EVOLUÇÃO DA LINHA COSTEIRA                                      | 445 |
| .....   |     |
| 16.5 BAÍAS NATURAIS, CÉLULAS COSTEIRAS E PLANEJAMENTO DA GESTÃO DA LINHA COSTEIRA | 447 |
| .....   |     |
| 16.6 COMPREENDENDO O COMPORTAMENTO DO SISTEMA COSTEIRO                            | 449 |
| .....   |     |
| 16.7 PRINCÍPIOS DA PROTEÇÃO COSTEIRA  | 450 |
| .....   |     |

|   |     |
|---|-----|
| 16.8 TÉCNICAS DE PROTEÇÃO COSTEIRA                              | 452 |
| 16.9 MODELAGEM DE ONDAS   | 460 |
| 16.10 ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS                          | 463 |
| 16.11 AVANÇOS EUROPEUS RECENTES EM ENGENHARIA E GESTÃO COSTEIRA | 465 |
| 16.12 NOTAS CONCLUSIVAS   | 466 |
| 16.13 RESUMO  | 466 |
| 17 Post-Scriptum  | 469 |
| Apêndice A: Momentos de Área 470                                |     |
| Índice 473  | 354 |