

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO **13**

CAPÍTULO 1

NOTAS INTRODUTÓRIAS **17**

1.1 ESTADOS DE AGREGAÇÃO DA MATÉRIA **17**

1.2 LÍQUIDOS E GASES **18**

1.3 FORÇAS EXTERNAS **19**

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE UNIDADES DE MEDIDA **21**

2.1 GRANDEZAS, UNIDADES DE MEDIDA E SISTEMAS DE UNIDADE **21**

2.2 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES **22**

2.3 MASSA E PESO **25**

2.4 UNIDADES UTILIZADAS NA MEDIDA DA PRESSÃO **27**

2.5 ANÁLISE DIMENSIONAL **32**

2.6 PREFIXOS E ALFABETO GREGO **36**

CAPÍTULO 3

PROPRIEDADES FÍSICAS DOS FLUIDOS **39**

3.1 MASSA ESPECÍFICA **39**

3.2 PESO ESPECÍFICO **41**

3.3 DENSIDADE RELATIVA **42**

3.4 VISCOSIDADE **44**

3.4.1 VISCOSIDADE DINÂMICA **46**

3.4.2 VISCOSIDADE CINEMÁTICA **47**

3.5 COESÃO, ADESÃO, TENSÃO SUPERFICIAL E CAPILARIDADE **51**

3.5.1 COESÃO E ADESÃO **51**

3.5.2 TENSÃO SUPERFICIAL **51**

3.5.3 CAPILARIDADE **53**

3.6 MÓDULO DE ELASTICIDADE VOLUMÉTRICA	58
3.7 PRESSÃO DE VAPOR	61
3.8 SOLUBILIDADE DOS GASES NA ÁGUA	65
3.8.1 LEI DE HENRY	66

CAPÍTULO 4

ESTÁTICA DOS FLUIDOS	71
4.1 PRESSÃO EXERCIDA POR UM FLUIDO	71
4.2 PRINCÍPIOS DE PASCAL	73
4.3 VARIAÇÃO VERTICAL DA PRESSÃO EM UM FLUIDO: LEI DE STEVIN	76
4.4 ESCALAS DE PRESSÃO, PRESSÃO ABSOLUTA E PRESSÃO RELATIVA	84
4.5 MEDIDORES DE PRESSÃO EM FLUIDOS	87
4.6 EMPUXO: PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES	102
4.7 FORÇAS SOBRE SUPERFÍCIES PLANAS SUBMERSAS EM UM LÍQUIDO	105
4.7.1 FORÇA RESULTANTE E CENTRO DE PRESSÃO EM SUPERFÍCIES PLANAS HORIZONTAIS SUBMERSAS EM UM LÍQUIDO	106
4.7.2 FORÇA RESULTANTE E CENTRO DE PRESSÃO EM SUPERFÍCIES PLANAS INCLINADAS SUBMERSAS EM UM LÍQUIDO	108
4.7.2.1 CENTRO DE PRESSÃO: PONTO DE APLICAÇÃO DA FORÇA RESULTANTE	110
4.7.3 PRESSÃO INTERNA EXERCIDA POR LÍQUIDOS EM TUBULAÇÕES	122

CAPÍTULO 5

DINÂMICA DOS FLUIDOS	127
5.1 VAZÃO DE UM FLUIDO	127
5.2 CLASSIFICAÇÃO DO MOVIMENTO DOS FLUIDOS	131
5.3 REGIME DE ESCOAMENTO DOS FLUIDOS	132
5.4 LINHA E TUBO DE CORRENTE	132
5.5 EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE	133
5.6 ENERGIA E SUAS FORMAS DE REPRESENTAÇÃO	137
5.7 TEOREMA DE BERNOULLI PARA FLUIDOS PERFEITOS	140
5.7.1 INTERPRETAÇÃO GEOMÉTRICA DO TEOREMA DE BERNOULLI	145
5.8 TEOREMA DE BERNOULLI PARA FLUIDOS REAIS	156

CAPÍTULO 6

ESCOAMENTO DE FLUIDOS EM CONDUTOS FORÇADOS	165
6.1 REGIME DE ESCOAMENTO DOS FLUIDOS EM TUBULAÇÕES	165
6.2 NÚMERO DE REYNOLDS	167
6.2.1 NÚMERO DE REYNOLDS PARA SEÇÕES DE ESCOAMENTO CIRCULARES	168

6.2.2 NÚMERO DE REYNOLDS PARA SEÇÕES DE ESCOAMENTO NÃO CIRCULARES	171
6.3 PERFIL DA VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DE FLUIDOS EM CONDUTOS FORÇADOS	173
6.4 ESCOAMENTO DE UM FLUIDO NA CAMADA LIMITE	175
6.5 NATUREZA E ORIGEM DA PERDA DE CARGA EM CONDUTOS FORÇADOS	176
6.5.1 PERDA DE CARGA CONTÍNUA EM CONDUTOS FORÇADOS SOB ESCOAMENTO PERMANENTE	178
6.5.1.1 FÓRMULA DE HAGEN-POISEUILLE	179
6.5.1.2 FÓRMULA DE DARCY-WEISBACH	184
6.5.1.2.1 OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO (F) ATRAVÉS DO DIAGRAMA DE MOODY	186
6.5.1.2.2 OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO (F) ATRAVÉS DE FÓRMULAS	189
6.5.1.2.2.1 Obtenção de f através de fórmula no regime laminar	189
6.5.1.2.2.2 Obtenção de f através de fórmula no regime turbulento	190
6.5.1.2.2.2.1 Critérios para separação dos tubos em hidraulicamente liso, rugoso e misto	193
6.5.1.2.2.3 Obtenção de f através de fórmula no regime laminar e turbulento	203
6.5.1.2.3 APLICAÇÃO DA FÓRMULA DE DARCY-WEISBACH PARA CONDUTOS NÃO CIRCULARES	206
6.5.1.3 FÓRMULA DE HAZEN-WILLIAMS	208
6.5.1.4 FÓRMULA DE FLAMANT	216
6.5.2 PERDA DE CARGA LOCALIZADA EM TUBULAÇÕES	219
6.5.2.1 MÉTODO DOS COEFICIENTES	220
6.5.2.2 MÉTODO DOS COMPRIMENTOS EQUIVALENTES	221
6.6 CONDUTOS EQUIVALENTES	224
6.6.1 CONDUTOS EM SÉRIE	224
6.6.2 CONDUTOS EM PARALELO	227
6.7 ABASTECIMENTO DE ÁGUA POR GRAVIDADE	231
6.8 TUBOS E ÓRGÃOS ACESSÓRIOS PARA TUBULAÇÕES	236
6.8.1 TUBOS	236
6.8.1.1 TIPOS DE TUBOS: EMPREGO E DIÂMETROS COMERCIAIS	239
6.8.2 ÓRGÃOS ACESSÓRIOS PARA TUBULAÇÕES	240

CAPÍTULO 7

ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO: BOMBAS HIDRÁULICAS	245
7.1 ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO	245
7.2 BOMBAS HIDRÁULICAS	246
7.2.1 BOMBAS HIDRÁULICAS DE DESLOCAMENTO POSITIVO	247
7.2.2 BOMBAS HIDRÁULICAS CINÉTICAS	249
7.2.2.1 VELOCIDADE ESPECÍFICA DE UMA BOMBA HIDRÁULICA	252
7.2.2.2 PARTES COMPONENTES DE UMA BOMBA HIDRÁULICA CINÉTICA	256

7.2.3 EQUIPAMENTOS ESPECIAIS UTILIZADOS NA ELEVAÇÃO DE ÁGUA	259
7.2.3.1 PARAFUSO DE ARQUIMEDES	259
7.2.3.2 CARNEIRO HIDRÁULICO	261
7.3 POTÊNCIA NECESSÁRIA AO FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO	263
7.3.1 POTÊNCIA INSTALADA EM UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO	269
7.4 LEIS DAS AFINIDADES HIDRÁULICAS	271
7.5 NPSH: NET POSITIVE SUCTION HEAD	274
7.5.1 MEDIDAS PRÁTICAS PARA COMBATER A CAVITAÇÃO	279
7.6 ESCOLHA DE UMA BOMBA HIDRÁULICA	279
7.6.1 CURVAS CARACTERÍSTICAS DAS BOMBAS HIDRÁULICAS	282
7.7 ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS HIDRÁULICAS	292
7.7.1 ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS HIDRÁULICAS EM PARALELO	292
7.7.2 ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS HIDRÁULICAS EM SÉRIE	299
7.8 PONTO DE FUNCIONAMENTO DE UMA BOMBA HIDRÁULICA: CURVAS CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA E DA BOMBA HIDRÁULICA	304
7.9 DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DA TUBULAÇÃO DE RECALQUE	309
7.9.1 MÉTODO DAS VELOCIDADES ECONÔMICAS	310
7.9.2 MÉTODO DE BRESSE	311
7.9.3 MÉTODO DA ABNT	313
7.9.4 MÉTODO DA ANÁLISE ECONÔMICA	313
7.10 GOLPE DE ARÍETE	316
7.10.1 DESCRIÇÃO DO GOLPE DE ARÍETE	316
7.10.2 CELERIDADE DA ONDA DE PRESSÃO	318
7.10.3 SOBREPRESSÃO	320
7.10.4 MEDIDAS DE PROTEÇÃO CONTRA O GOLPE DE ARÍETE	324

CAPÍTULO 8

ESCOAMENTO DA ÁGUA EM CONDUTOS LIVRES: CANAIS	327
8.1 TIPOS DE ESCOAMENTO EM CONDUTOS LIVRES	327
8.2 ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE UM CANAL	329
8.2.1 FORMAS GEOMÉTRICAS MAIS UTILIZADAS EM CANAIS	330
8.3 NÚMERO DE REYNOLDS E NÚMERO DE FROUDE	333
8.4 FÓRMULAS PARA DIMENSIONAMENTO DE CANAIS SOB ESCOAMENTO PERMANENTE UNIFORME	334
8.4.1 FÓRMULA DE MANNING	337
8.4.2 SEÇÃO HIDRÁULICA DE MÁXIMA EFICIÊNCIA	345
8.4.3 VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA EM CANAIS	349
8.4.3.1 VELOCIDADE MÍNIMA DE ESCOAMENTO PERMITIDA	349
8.4.3.2 VELOCIDADE MÁXIMA DE ESCOAMENTO PERMITIDA	350

8.4.4 DECLIVIDADES RECOMENDADAS PARA CANAIS	350
8.4.5 INCLINAÇÃO RECOMENDADA PARA OS TALUDES DE CANAIS	351
8.4.6 PERDAS DE ÁGUA POR INFILTRAÇÃO EM CANAIS NÃO REVESTIDOS	351
8.4.7 BORDA LIVRE PARA CANAIS	353
8.5 ESCOAMENTO PERMANENTE NÃO UNIFORME EM CANAIS	354
8.5.1 ENERGIA ESPECÍFICA: CONCEITO	354
8.5.2 ESCOAMENTO SOB REGIME CRÍTICO EM CANAIS	359
8.5.2.1 ESCOAMENTO CRÍTICO EM UM CANAL DE SEÇÃO RETANGULAR	359
8.5.2.2 ESCOAMENTO CRÍTICO EM UM CANAL DE SEÇÃO GENÉRICA	363
8.5.3 APLICAÇÃO DO CONCEITO DE ENERGIA ESPECÍFICA NA SOLUÇÃO DE ALGUNS PROBLEMAS PRÁTICOS	366
8.5.3.1 ESTREITAMENTO OU ALARGAMENTO DA SEÇÃO DE ESCOAMENTO DE UM CANAL RETANGULAR	366
8.5.3.1.1 ESTREITAMENTO DA SEÇÃO DE ESCOAMENTO DE UM CANAL RETANGULAR	368
8.5.3.1.2 ALARGAMENTO DA SEÇÃO DE ESCOAMENTO DE UM CANAL RETANGULAR	372
8.5.3.2 ELEVAÇÃO OU REBAIXAMENTO DA SOLEIRA DE UM CANAL RETANGULAR	375
8.5.3.2.1 ELEVAÇÃO DA SOLEIRA DE UM CANAL RETANGULAR	377
8.5.3.2.2 REBAIXAMENTO DA SOLEIRA DE UM CANAL RETANGULAR	381

CAPÍTULO 9

HIDROMETRIA: MEDIÇÃO DE VAZÃO	387
9.1 MEDIÇÃO DE VAZÃO EM CANAIS	387
9.1.1 MÉTODO VOLUMÉTRICO OU DIRETO	387
9.1.2 MÉTODO DA ÁREA-VELOCIDADE	388
9.1.2.1 SEÇÃO DE ESCOAMENTO	388
9.1.2.2 VELOCIDADE MÉDIA DE ESCOAMENTO	389
9.1.2.2.1 MÉTODO DO FLUTUADOR	389
9.1.2.2.2 MOLINETES	392
9.1.3 VERTEDORES	393
9.1.3.1 VERTEDOR RETANGULAR DE PAREDE DELGADA	394
9.1.3.2 VERTEDOR TRIANGULAR DE PAREDE DELGADA	399
9.1.3.3 VERTEDOR TRAPEZOIDAL DE PAREDE DELGADA	403
9.1.4 MEDIDORES DE REGIME CRÍTICO: CALHAS	404
9.1.4.1 CALHAS PARSHALL	405
9.1.4.2 CALHAS WSC	408
9.1.5 SIFÕES	410
9.2 MEDIÇÃO DE VAZÃO EM TUBULAÇÕES	412
9.2.1 TUBO DE VENTURI	412
9.2.2 PLACA COM ORIFÍCIO	414
9.2.3 TUBO DE PITOT	416
9.2.4 MEDIDORES ELETROMAGNÉTICOS	419

ÍNDICE REMISSIVO	421
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	427