

# Sumário

<b>Prefácio</b>	<b>11</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>17</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>25</b>
<b>I INTRODUÇÃO</b>	<b>27</b>
<b>1 Vetores e Grandezas Vetoriais</b>	<b>29</b>
1.1 Introdução aos Vetores . . . . .	29
1.2 Sistemas de Coordenadas Retangulares . . . . .	40
1.3 Sistema de Coordenadas Polares . . . . .	48
1.4 Sistema de Coordenadas Cilíndricas . . . . .	52
1.5 Sistema de Coordenadas Esféricas . . . . .	55
1.6 Grandezas Escalares e Vetoriais . . . . .	57
1.7 Operadores e Teoremas Vetoriais . . . . .	65
1.8 Exemplos Resolvidos . . . . .	85
1.9 Exercícios . . . . .	94
<b>2 Algumas Séries Úteis em Física</b>	<b>99</b>
2.1 Série de Taylor . . . . .	99
2.2 Série de Fourier . . . . .	110
2.3 Série Geométrica . . . . .	120
2.4 Exercícios . . . . .	122
<b>3 Função Delta de Dirac</b>	<b>125</b>
3.1 Função Delta de Dirac Unidimensional . . . . .	125
3.2 Delta de Dirac Tridimensional . . . . .	150
3.3 Exercícios . . . . .	155

<b>II</b>	<b>ELETROSTÁTICA</b>	<b>157</b>
<b>4</b>	<b>Carga e Força Elétrica</b>	<b>159</b>
4.1	Carga Elétrica . . . . .	159
4.2	Processos de Eletrização . . . . .	164
4.2.1	Eletrização por Atrito ou Triboeletrização . . . . .	165
4.2.2	Eletrização por Contato . . . . .	166
4.2.3	Eletrização por Indução . . . . .	167
4.3	Força Elétrica . . . . .	169
4.4	Mãos à Obra: Pêndulo Eletrostático e Eletroscópio . . . . .	190
4.4.1	Pêndulo Eletrostático . . . . .	191
4.4.2	Eletroscópio . . . . .	192
4.5	Exercícios . . . . .	195
<b>5</b>	<b>Campo Elétrico</b>	<b>197</b>
5.1	Conceitos Fundamentais . . . . .	197
5.2	Linhas de Campo Elétrico e Lei de Gauss . . . . .	215
5.3	Obtenção Matemática da Lei de Gauss . . . . .	222
5.4	Aplicações da Lei de Gauss . . . . .	225
5.5	O Dipolo Elétrico . . . . .	243
5.6	Força e Torque sobre um Dipolo Elétrico . . . . .	249
5.7	Delta de Dirac e Cargas Pontuais . . . . .	255
5.8	Força Elétrica sobre Cargas Superficiais . . . . .	269
5.9	Mãos à Obra: Lei de Gauss e Blindagem Elétrica . . . . .	275
5.9.1	Recipiente Metálico e Lei de Gauss . . . . .	275
5.9.2	Peneiras e Blindagem Elétrica . . . . .	278
5.10	Exercícios . . . . .	279
<b>6</b>	<b>Potencial Elétrico</b>	<b>283</b>
6.1	Energia Potencial Elétrica e Força Elétrica . . . . .	283
6.2	Definição de Potencial Elétrico . . . . .	295
6.3	Potencial Elétrico de um Dipolo Elétrico . . . . .	330
6.4	Continuidade do Campo e do Potencial Elétricos numa Interface . . . . .	339
6.5	Linhas de Campo Elétrico e Superfícies Equipotenciais . . . . .	344
6.6	Mãos à Obra: Gerador de Van de Graaff . . . . .	347
6.6.1	Gerador de Van de Graaff e Linhas de Campo Elétrico . . . . .	348
6.7	Exercícios . . . . .	351

<b>7</b>	<b>Equação de Laplace</b>	<b>355</b>
7.1	Propriedades Gerais das Equações de Poisson e de Laplace . . . . .	357
7.2	Equação de Laplace em Coordenadas Retangulares . . . . .	362
7.2.1	Equação de Laplace em Coordenadas Retangulares Bidimensionais . . . . .	362
7.2.2	Equação de Laplace em Coordenadas Retangulares Tridimensionais . . . . .	379
7.3	Equação de Laplace em Coordenadas Polares . . . . .	394
7.4	Equação de Laplace em Coordenadas Esféricas . . . . .	405
7.4.1	Soluções da Equação de Laplace em Coordenadas Esféricas Envolvendo os Polinômios de Legendre . . . . .	410
7.4.2	Soluções da Equação de Laplace em Coordenadas Esféricas Envolvendo os Polinômios Generalizados de Legendre . . . . .	453
7.5	Equação de Laplace em Coordenadas Cilíndricas . . . . .	486
7.5.1	Solução da Equação de Laplace em Coordenadas Cilíndricas quando $k = 0$ . . . . .	487
7.5.2	Solução da Equação de Laplace em Coordenadas Cilíndricas quando $k \neq 0$ . . . . .	508
7.6	Mãos à Obra: Simulação de Raios e Poder das Pontas . . . . .	532
7.6.1	Vento Elétrico . . . . .	532
7.6.2	Torniquete Elétrico . . . . .	534
7.6.3	Simulação de Raios . . . . .	535
7.7	Exercícios . . . . .	536
<b>8</b>	<b>Método das Imagens</b>	<b>539</b>
8.1	Aplicações do Método das Imagens em Coordenadas Retangulares . . . . .	539
8.1.1	Carga Pontual Situada em frente a um Plano Infinito Aterrado . . . . .	540
8.1.2	Carga Pontual Situada em frente a Dois Planos Infinitos Aterrados que Formam um Ângulo Reto . . . . .	550
8.1.3	Carga Pontual entre Dois Planos Paralelos . . . . .	554
8.2	Exemplos do Método das Imagens em Coordenadas Esféricas . . . . .	557
8.2.1	Carga Pontual e uma Esfera Condutora Aterrada . . . . .	558
8.2.2	Carga Pontual e uma Esfera Condutora Carregada . . . . .	563
8.2.3	Carga Pontual e uma Esfera Condutora Mantida a um Potencial Fixo . . . . .	566
8.3	Exemplo do Método das Imagens em Coordenadas Cilíndricas . . . . .	569

8.3.1	Linha de Cargas e um Plano Condutor Aterrado . . . . .	570
8.4	Exercícios . . . . .	573
<b>9</b>	<b>Expansão em Multipolos Elétricos</b>	<b>575</b>
9.1	Expansão do Potencial Elétrico em Multipolos . . . . .	575
9.2	Expansão da Energia Potencial Elétrica em Multipolos . . . . .	623
9.3	Exercícios . . . . .	627
<b>10</b>	<b>Funções de Green Eletrostáticas</b>	<b>631</b>
10.1	Relação entre o Teorema de Green e o Potencial Elétrico . . . . .	631
10.2	Funções de Green . . . . .	634
10.2.1	Esfera Condutora Submetida a um Potencial Qualquer sobre a Superfície . . . . .	638
10.3	Obtenção das Funções de Green em Coordenadas Esféricas . . . . .	660
10.4	Funções de Green em Coordenadas Cilíndricas . . . . .	692
10.5	Exercícios . . . . .	702
<b>11</b>	<b>Campos Elétricos em Meios Dielétricos</b>	<b>705</b>
11.1	Visão Microscópica Qualitativa dos Dielétricos . . . . .	706
11.2	Campo Elétrico de um Dielétrico . . . . .	711
11.3	Condições de Contorno na Interface entre Dois Meios Dielétricos . . . . .	743
11.4	Visão Microscópica Quantitativa dos Dielétricos . . . . .	798
11.4.1	Polarização de Dipolos Intrínsecos . . . . .	804
11.4.2	Polarização de Dipolos Induzidos . . . . .	809
11.4.3	Polarização em Materiais Ferroelétricos . . . . .	813
11.5	Energia em Meios Dielétricos . . . . .	816
11.5.1	Teorema de Thomson . . . . .	827
11.5.2	Energia de um Dielétrico Imerso noutro Dielétrico . . . . .	831
11.6	Exercícios . . . . .	838
<b>12</b>	<b>Capacitores</b>	<b>841</b>
12.1	Estudo de Capacitores Elementares . . . . .	842
12.2	Energia Armazenada em Capacitores . . . . .	854
12.3	Associação de Capacitores . . . . .	856
12.3.1	Associação de Capacitores em Série . . . . .	857
12.3.2	Associação de Capacitores em Paralelo . . . . .	860
12.3.3	Associação Mista de Capacitores . . . . .	862
12.4	Forças e Torques em Capacitores . . . . .	870

12.5	Mãos à Obra: Capacitores . . . . .	886
12.5.1	Garrafa de Leyden . . . . .	886
12.5.2	Experiência de Millikan . . . . .	888
12.6	Exercícios . . . . .	892
<b>Apêndices</b>		<b>895</b>
<b>A Constantes Físicas</b>		<b>897</b>
<b>B Operadores Diferenciais</b>		<b>899</b>
B.1	Coordenadas Retangulares . . . . .	899
B.2	Coordenadas Cilíndricas . . . . .	901
B.3	Coordenadas Esféricas . . . . .	908
B.4	Exercícios . . . . .	919
<b>C Equação, Polinômios e Séries de Legendre</b>		<b>921</b>
C.1	Resolução da Equação de Legendre . . . . .	921
C.2	Série de Legendre . . . . .	939
C.3	Resolução da Equação Generalizada de Legendre . . . . .	940
C.4	Harmônicos Esféricos $Y_{\ell,m}(\theta, \phi)$ . . . . .	954
C.5	Exercícios . . . . .	961
<b>D Equação, Funções e Série de Bessel</b>		<b>963</b>
D.1	Equação de Bessel e Funções de Bessel . . . . .	963
D.1.1	Solução para $2\nu$ Não Inteiro . . . . .	971
D.1.2	Solução para $\nu$ Semi-Inteiro . . . . .	972
D.1.3	Solução para $\nu$ Inteiro . . . . .	976
D.2	Série de Bessel . . . . .	1000
D.3	Funções de Bessel Modificadas . . . . .	1014
D.4	Exercícios . . . . .	1018
<b>Referências Bibliográficas</b>		<b>1021</b>
<b>Índice Remissivo</b>		<b>1027</b>