

Prefácio

Este curso de MECÂNICA DOS MATERIAIS AVANÇADA é uma coleção de anotações que venho reunindo há quase três décadas. Nada inventei, apenas compilei. Procurei, dentro do possível, colocá-las numa forma didática para que a pessoa não tenha dificuldade em assimilar este assunto que possa parecer difícil, quando na verdade os conceitos são fáceis e não necessitam ser apresentados de maneira complexa para valorizar o conteúdo. O diferencial deste livro talvez esteja na apresentação simples dos vários assuntos.

O estudo da Estática e da Mecânica dos Materiais (ou Resistência dos Materiais) deve preceder ao curso que ora apresentamos. Na Estática foi visto como analisar o equilíbrio dos corpos “rígidos”; na Mecânica dos Materiais foi estendida a análise do equilíbrio para os corpos deformáveis, desenvolvendo o conhecimento das relações entre as cargas aplicadas e as deformações resultantes, uma vez considerada, obviamente, a natureza dos materiais envolvidos.

A Mecânica dos Materiais é um assunto intrinsecamente fácil; as dificuldades às vezes estão na assimilação de seus conceitos, que são simples, porém talvez novos nessa fase de formação. É importante lembrar que o estudo da Mecânica dos Materiais é fundamental para qualquer engenheiro. Disso ninguém pode duvidar. Suas aplicações surgem em todos os ramos da Engenharia, sendo vitais especialmente nas Engenharias Mecânica, Civil, Aeronáutica e Naval. Para isso, temos que ter os conceitos claros e exercitar suas aplicações para os casos do cotidiano.

Neste trabalho aprofundaremos os conhecimentos, entendendo a “mecânica” do funcionamento das estruturas e as transmissões externa e interna dos esforços, permitindo assim selecionar inteligentemente os materiais, especificando suas dimensões e outras propriedades fundamentais para uma dada necessidade específica, visando a segurança e a viabilidade econômica.

A natureza interdisciplinar da Engenharia de Projetos deve merecer muita atenção. Do ponto de vista educativo, seria importante que todas as disciplinas sempre induzissem o estudante a utilizar seus conhecimentos de Matemática e das leis da Física aos projetos que realizam. Tudo seria mais fácil e mais abrangente. Essas oportunidades motivam os estudantes de Engenharia e os faz mais criativos em seus projetos. Nada de fórmulas prontas, temos que conhecer a função de seus parâmetros.

Tudo que está exposto neste livro provém de diversas fontes. No final deste trabalho há uma bibliografia que me serviu de consulta. No texto, não creio ser necessário a todo instante citar a quem pertence a ideia, mesmo porque ninguém é dono do conhecimento, só Deus. Tudo dele provém. A fonte é sempre o Pai, que nos inspira diariamente.

Se algum leitor não apreciar a maneira como exponho os assuntos, gostaria de ser informado, pois humildemente aceitarei as críticas. É impossível agradar a todos, mas quero sempre estar aprendendo e melhorando.

Estou editando este livro apenas pelo prazer de repassar conhecimentos adquiridos e de ocupar meu tempo com aquilo que gosto e sei fazer. Certo de que todo conhecimento deve ser difundido, pois se ocultado ou restrito a um grupo limitado de pessoas, faz mal, torna-se uma atitude egoísta e não serve como contribuição técnica ou científica. Essa atitude seria oposta ao princípio divino de que tudo pertence a todos e, portanto, deve ser de livre acesso. Ainda mais no meio acadêmico-científico.

Agradeço a todos com quem muito aprendi, sem declinar nomes: meus alunos, meus mestres, colegas, amigos, meus pais e familiares e também aqueles que tentaram de alguma forma colocar obstáculos e dificuldades em meu caminho, pois estes, sem saber, também contribuíram para que este trabalho se realizasse.

Cordialmente,
Prof. Celso Pinto Morais Pereira
setembro/2013

Sumário

Prefácio	VII
Capítulo 1 BREVE HISTÓRICO DA MECÂNICA DOS MATERIAIS	1
1.1 Como Nasceu a Mecânica dos Materiais	1
1.2 Leonardo da Vinci e a Mecânica dos Materiais	3
1.3 Galileu no Campo da Mecânica dos Materiais	5
Capítulo 2 CONCEITOS PRELIMINARES DE MECÂNICA ...	15
2.1 Do que Trata a Mecânica dos Materiais?	15
2.2 Cargas ou Forças Externas Atuantes	18
2.3 Tipos de Estruturas	19
2.4 Sistemas Estaticamente Determinados e Estaticamente Indeterminados	20
2.5 Deformações dos Corpos Deformáveis	21
2.6 Lei de Hooke	22
2.7 Corpos Elásticos	22
2.8 Teoria da Elasticidade e a Mecânica dos Materiais	23
2.9 Tensões Internas	24
2.10 Características das Solicitações	27
2.11 Princípio de Saint-Venant	28
2.12 Princípio da Superposição dos Efeitos	30
2.13 Critérios de Segurança	31

2.14	Instabilidade Estrutural	32
2.15	Condições de Resistência ou de Projeto	33
2.16	Deformações Específicas Normais e de Cisalhamento	34
Capítulo 3 DEFORMAÇÃO E DESLOCAMENTO		43
3.1	Deformação <i>versus</i> Deslocamento	43
3.2	Deformação Uniaxial	47
3.3	Deformação Biaxial	48
3.4	Deformação Triaxial	51
	Exercícios Propostos	68
Capítulo 4 ESTUDO DE TENSÕES EM UM PONTO		71
4.1	Tensão Resultante em um Plano Oblíquo	71
4.2	Tensão Normal e Tensão de Cisalhamento em um Plano Oblíquo Qualquer n	74
4.3	Rotação do Sistema de Eixos	76
4.4	Formulação de Transformação de Tensões	78
4.5	Tensões e Direções Principais em Três Dimensões	80
4.6	Programa Tenprin	88
4.7	Tensões Octaédricas	90
	Exercícios Propostos	98
Capítulo 5 ESTADO PLANO DE TENSÕES		99
5.1	Introdução	99
5.2	Círculo de Mohr para o Estado Plano de Tensões	104
5.3	Círculo de Mohr para o Estado Triaxial de Tensões	112
5.4	Círculo de Mohr para Análise Tridimensional de Tensões em um Plano Oblíquo Qualquer	117
5.5	Tensões de Cisalhamento na Flexão	118
5.6	Tensões de Cisalhamento em Seções Transversais mais Comuns	121
5.7	Outras Considerações sobre Tensões de Cisalhamento . . .	136
	Exercícios Propostos	142

Capítulo 6 ESTUDO DE DEFORMAÇÕES EM UM PONTO . . .	145
6.1 Introdução	145
6.2 Círculo de Mohr para Deformações	150
6.3 Medidas de Deformações – Rosetas	160
6.4 Análise Triaxial de Deformações Específicas	169
Exercícios Propostos	174
Capítulo 7 MEDIDAS DE DEFORMAÇÃO POR EXTENSOMETRIA	177
7.1 Extensômetros na Determinação de Tensões	177
7.2 Tipos de Extensômetros	179
7.3 Extensômetro Elétrico de Resistência (EER)	180
7.4 Variação de Resistência e Deformação Específica	184
7.5 Tensão de Entrada da Ponte	187
7.6 Materiais Usados em Extensômetros	187
7.7 Circuito Utilizado para Medidas de Deformação	189
7.8 Tipos de Ligações de EER na “Ponte de Wheatstone”	193
7.9 Influência da Temperatura na Medição da Deformação	197
7.10 Artifício do Extensômetro Fictício (<i>Dummy Gage</i>)	200
7.11 Equações das Deformações Principais Aplicadas as Rosetas	201
7.12 Transdutores – Aplicações de Extensômetros	204
7.13 Como Projetar um Transdutor	207
7.14 Projeto de um Transdutor – Exemplo	210
7.15 Preparação da Superfície e Colagem de <i>Strain Gage</i>	214
Exercícios Propostos	223
Capítulo 8 CRITÉRIOS DE PROJETO – FRATURA E ESCOAMENTO	225
8.1 Segurança e Confiabilidade	225
8.2 Categorias de Projetos – Resumo	226
8.3 Comportamento Dúctil e Comportamento Frágil	228
8.4 Falhas de Materiais	230
8.5 Critérios de Projeto – Escoamento e Plástico	231
8.6 Teorias Fundamentais de Falhas de Materiais	231
8.7 Teoria da Máxima Tensão Normal (Critério de Rankine)	233

8.8	Teoria do Atrito Interno (Critério de Coulomb-Mohr)	235
8.9	Teoria da Máxima Tensão de Cisalhamento (Critério de Tresca)	237
8.10	Teoria da Máxima Energia de Distorção (Critério de von Mises)	242
8.11	Verificação Experimental e Comparação das Teorias Fundamentais de Falhas de Materiais	250
8.12	Equações de Projeto – Resumo dos Vários Critérios	253
	Exercícios Propostos	264
Capítulo 9 CONCENTRAÇÃO DE TENSÕES		265
9.1	Introdução	265
9.2	Mecanismo de Concentração de Tensões	267
9.3	Fatores de Concentração de Tensões	272
9.4	Redução da Concentração de Tensões	274
9.5	Determinação do Fator de Concentração de Tensões	277
9.6	Limitações do Fator K	280
	Exercícios Propostos	293
Capítulo 10 MÉTODOS ENERGÉTICOS		295
10.1	Introdução	295
10.2	Energia de Deformação Elástica para Tensões Normais	296
10.3	Energia de Deformação para Tensões de Cisalhamento	299
10.4	Energia de Deformação para o Estado Multiaxial de Tensões	300
10.5	Energia de Deformação para Vários Tipos de Cargas	301
10.6	Deslocamentos obtidos pelo Método da Energia	303
10.7	Energia de Deformação para Várias Cargas Aplicadas	307
10.8	Teorema de Castigliano	312
10.9	Cálculo de Deformação pelo Teorema de Castigliano	314
10.10	“Princípio do Trabalho Mínimo” ou “Teorema de Menabréa”	329
10.11	Aplicação do “Princípio do Trabalho Mínimo” em Estruturas com Hiperestaticidade Interna	348

10.12	“Método dos Trabalhos Virtuais”, ou “Método da Carga Unitária”, Aplicado ao Cálculo de Deflexões.....	352
	Exercícios Propostos.....	370
Anexos		
	Tabelas de Convenções de Unidades.....	375
	Tabela de Propriedade Geométrica.....	379
	Propriedades Mecânicas de alguns Materiais	381
	Perfil “I” de Aço Laminado com Abas Inclínadas	385
	Perfil “H” de Aço Laminado com Abas Largas Paralelas	389
	Perfil “U” de Aço Laminado com Abas Inclínadas.....	393
	Perfil de Aço Laminado – Cantoneira Abas Iguais	397
	Perfil de Aço Laminado – Cantoneira Abas Desiguais	399
	Tubos de Aço Redondos com Costura	403
	Apêndice – Gráficos de Fatores de Concentração de Tensões (K_t)... ..	405
	Referências.....	417