

ELASTICIDADE

Volume II

“Instrumentos e Associações”

Leandro Bertoldo

Dedicatória

Dedico este livro à minha amada mãe
Anita Leandro Bezerra

“Há poder no conhecimento de ciências de toda a espécie, e é designo de Deus que a ciência avançada seja ensinada em nossas escolas como preparação para a obra que há de preceder as cenas finais da história terrestre”. (Fundamentos da Educação Cristã, 186).

Ellen Gould White
Escritora, conferencista, conselheira,
e educadora norte-americana.
(1827-1915)

Sumário

Dados biográficos

Prefácio

Capítulo I: Instrumentos Elásticos

Capítulo II: Pontes Dinamoscópicas

Capítulo III: A Humanidade e a Elasticidade

Capítulo IV: Comportamento das Forças

Capítulo V: Associação em Série

Capítulo VI: Associação em Paralelo

Capítulo VII: Associação Composta

Capítulo VIII: Análise das Associações

Capítulo IX: Associações Particulares

Capítulo X: Intensidades Elásticas

Capítulo XI: Primeira e Segunda Lei

Capítulo XII: Tolerância Dinamoscópica

Capítulo XIII: Dependência de Parâmetro

Dados biográficos

Leandro Bertoldo é o primeiro filho do casal José Bertoldo Sobrinho e Anita Leandro Bezerra. Tem um irmão chamado Francisco Leandro Bertoldo. Os dois seguiram a carreira no judiciário paulista, incentivados pelo pai, que via algo de desejável na estabilidade do serviço público.

Leandro fez as faculdades de Física e de Direito na Universidade de Mogi das Cruzes – UMC. Seu interesse sempre crescente pela área das exatas vem desde os seus 17 anos, quando começou a escrever algumas teses sérias a respeito do assunto. Em 1995, publicou o seu primeiro livro de Física, que foi um grande sucesso entre os professores universitários. O seu comprometimento com o Direito é resultado de suas atividades junto ao Tribunal de Justiça do Estado de São Paulo.

Leandro casou-se duas vezes e teve uma linda filha do primeiro matrimônio chamada Beatriz Maciel Bertoldo. Sua segunda esposa Daisy Menezes Bertoldo tem sido sua grande companheira e amiga inseparável de todas as horas. Muitas de suas alegrias são proporcionadas pelos seus amados cachorros: Fofa, Pitucha, Calma e Mimo.

Durante sua carreira como cientista contabilizou centenas de artigos e dezenas de livros, todos defendendo teses originais em Física e Matemática, destacando-se: “Teoria Matemática e Mecânica do Dinamismo” (2002); “Teses da Física Clássica e Moderna” (2003); “Cálculo Seguimental” (2005); “Artigos Matemáticos” (2006) e “Geometria Leandroniana” (2007), os quais estão sendo discutidos por vários grupos de pesquisas avançadas nas grandes universidades do país.

Prefácio

Elasticidade é a primeira obra exaustiva e de natureza sistemática produzida *ab ovo* pelo autor no período de 1978 a 1980. Trata-se de um livro de fôlego, constituído por mais de mil páginas, que foram distribuídas em cinco volumes.

O livro encontra-se inteiramente estruturado no método científico, especialmente pela análise matemática. Partindo de poucos princípios, o livro cresceu alimentando-se do método da analogia com os diversos ramos da Física Clássica.

O manuscrito original desta obra apresenta uma letra bem delineada, bastante caprichada, clara e limpa. Naquela época o autor era um intelectual vanguardista bastante jovem e orgulhoso, que contava apenas 19 anos de idade. Ainda estudante colegial, aplicava-se com afinco à leitura de Descartes, Locke, Rousseau, Voltaire, Leibniz, Galileu, Newton, Einstein etc. Além disso, dedicava todo seu tempo livre na elaboração de profundas pesquisas científicas em física. Somente a juventude do autor poderia permitir a introdução de conceitos inovadores e de ideias inusitadas no campo da Física Clássica, como se pode constatar nesta obra.

Na falta de um nome apropriado para designar as novas leis, fórmulas e conceitos, provisoriamente, lancei mão do nome que estava mais acessível naquele momento: “Leandro”. Entretanto, tal nome poderá ser substituído por outra designação mais adequada, que a ciência achar conveniente.

O próprio título da obra articula bem os seus objetivos: “Elasticidade”. Ela visa realizar o estudo sistemático das propriedades das deformações elásticas e plásticas que os corpos apresentam ao serem submetidos à ação de uma intensidade de força.

O **primeiro volume** desta série é dedicado ao estudo dos princípios fundamentais envolvidos nas deformações elás-

ticas. Nele é analisado o equilíbrio elástico, o conceito de dinamoscópio, dinamômetros, escalas dinamométricas, quantidade elástica, tração, compressão, deformações lineares, superficiais e volumétricas e finalmente analisa a relação entre as deformações e a temperatura.

O **segundo volume** foi consagrado ao estudo dos sistemas e instrumentos de medidas elásticas, como por exemplo, os leandrometros e multímetros dinamoscópico, bem como o estudo das pontes elásticas, associações em série e em paralelo de corpos dinamoscópicos.

O **terceiro volume** desta série é destinado ao estudo das grandezas físicas da Cinemática e da Dinâmica, aplicadas às forças e às deformações elásticas dos corpos dinamoscópicos.

O **quarto volume** está voltado ao estudo das contrações e expansões laterais, provocadas pelas deformações por tração e compressão linear, superficial e volumétrica.

O **quinto volume** desta série propõe estudar os corpos dinamoscópicos elásticos, semielásticos e plásticos, rigidez dinamoscópica, ponto de ruptura, conceitos geométricos aplicados na dinamoscopia, campo elástico e estudos sobre os reostatos dinamoscópicos.

Enfim, o livro é revolucionário e inovador. Ele traz em seu bojo muitas pesquisas originais e inéditas, produzidas pelo autor em sua juventude. Esta obra estabelece claramente um paradigma ao criar um novo ramo da Física Clássica: Elasticidade.

O autor folga em oferecer ao grande público leitor esta maravilhosa obra, esperando que venha a ter boa acolhida entre os homens de ciência e visionários do futuro, a fim de que o universo do nosso conhecimento continue no seu grande processo de expansão.

CAPÍTULO I

Instrumentos Elásticos

1. Introdução

No estudo das ciências físicas, embora ocorra certo interesse para o aspecto qualitativo de um fenômeno natural, é dada uma maior ênfase para o lado mensurável do fenômeno.

Já me referi anteriormente a alguns dos instrumentos e processos utilizados e desenvolvidos por mim nas medidas elásticas. Em capítulos anteriores, por exemplo, houve de certa maneira um primeiro contato com o dinamômetro e verificou-se como pode ser empregado para estudar quantitativamente os sentidos das forças, intensidade das mesmas e o estágio de deformação dos corpos dinamoscópicos. O emprego de outros instrumentos de medida também já foi evidenciado, embora de maneira superficial. Finalmente, agora com o estágio de desenvolvimento do presente livro, estou em condições de fazer uma revisão mais pormenorizada de alguns processos de medidas elásticas, especialmente os que se utilizam de um modelo especial de instrumento chamado por leandrometros de bobina espiralada. Esses instrumentos são de grande sensibilidade o que permite efetuar medidas de grande precisão. Notar-se-á que com o auxílio desses leandrometros poderá ser efetuada medida de forças de qualquer intensidade, deformações, intensidades elásticas etc. Tais instrumentos destinam-se a operar com fluxo dinamoscópicos nulos ou diferentes de zero. Nestes sistemas, porém, me parece ser mais comum o emprego de outros tipos de instrumentos, intrinsecamente de menor sensibilidade, porém mais robustos.

Essencialmente, todos esses instrumentos elásticos de medida estão baseados em efeitos dinamoscópicos das forças. Neste capítulo, porém, tratarei de especificar particularmente as

aplicações desses instrumentos e não o princípio de funcionamento, ou os pormenores construtivos. Isto será realizado no decorrer do desenvolvimento deste livro. O que realmente pretendo realizar nos parágrafos seguintes é aplicar os conhecimentos já adquiridos sobre os sistemas dinamoscópicos, a alguns dos processos de medida muito úteis às aplicações técnicas da elasticidade nos diversos campos do conhecimento humano. Pois, ao desenvolver a teoria dinamoscópica de Leandro, o meu principal objetivo é o de reformular a velha teoria elástica dando-lhe um caráter teórico, racional, lógico, preciso e extremamente prático. Neste capítulo procuro introduzir os métodos elementares de medir forças, deformações e intensidade elástica.

2. Medidas Elásticas

Considerarei inicialmente o instrumento fundamental e básico empregados nas medidas elásticas, o “medidor de força”. Os mais sensíveis medidores de intensidade de força são denominados em geral por leandrometros. Ele é um medidor de força muito sensível, capaz de registrar intensidades de forças da ordem de 10^{-3} dinas. Já os aparelhos capazes de medir intensidades de forças da ordem de alguns a muitos dinas denomina-se dinamômetros.

O funcionamento desses instrumentos é extremamente elementar e baseia-se nos efeitos dinamoscópicos provocados pela ação de forças, que faz um cursor-indicador deslocarem-se sobre uma escala convenientemente construída; creio que existem possibilidades de se construir instrumentos como esse funcionando, segundo os efeitos magnéticos da corrente elétrica; porém, não pretendo entreter-me nesse assunto, visto que meus principais objetivos é a demonstrar as leis que regem os fenômenos da teoria dinamoscópica.

3. Características Básicas

Fundamentalmente existem duas características básicas relativas ao medidor que no desenvolvimento do presente capítulo será de extrema importância. São os seguintes:

Valor do Extremo da Escala

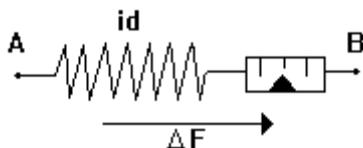
O deslocamento do cursor-indicador, causado pela deformação do corpo dinamoscópico oriunda da ação da força, é proporcional à intensidade de força. Assim sendo, para uma dada intensidade (ΔF_0), o cursor indicador alcançará seu deslocamento máximo, tocando no extremo da escala. Esse valor, que limita a leitura, representa a maior intensidade de força que o instrumento pode medir, denominada usualmente por valor extremo da escala.

Intensidade Elástica Interna

Todo dinamômetro se caracteriza pela intensidade elástica, que também usualmente em minhas reflexões tenho chamado por intensidade elástica interna (i_d). Na realidade do ponto de vista da elasticidade, esses instrumentos comportam-se como um corpo dinamoscópico de intensidade elástica (i_d).

Símbolo do Dinamômetro

Em esquemas de sistemas dinamoscópicos, costumo representar os dinamômetros pelo símbolo indicada na seguinte figura:



Colocando-se ao lado, o valor de sua intensidade elástica interna.

Quando a intensidade elástica é muito pequena ou nula, como em fios rígidos de ligação dos elementos do sistema dinamoscópico estes são representados por uma linha contínua, indicando que esse intervalo é indeformável.

A partir de leandrimetros – cujas características já são conhecidas – e de corpos dinamoscópicos que permitem medir forças de maior intensidade (dinamômetros) e variações de deformações (tremas). A vantagem do emprego da trena na elasticidade é que ela apresenta um corpo dinamoscópico interno que enrola automaticamente a trena. Então, numa leitura o corpo dinamoscópico analisado pode sofrer uma deformação por tração ou por compressão ou simplesmente restituir-se, e a trena convenientemente adaptada segue os mesmos estágios do corpo dinamoscópico em debate indicando continuamente a leitura da variação da deformação.

4. Definições Gerais

Leandrômetro

É um instrumento básico utilizado nas medidas elásticas em sistemas e corpos dinamoscópicos perfeitamente elástico.

O leandrômetro comporta-se como um corpo dinamoscópico. É muito sensível e suporta uma força de pequena intensidade, variável até um valor máximo admissível.

Como um corpo dinamoscópico perfeitamente elástico, o leandrometro é impresso por uma intensidade de força diretamente proporcional à variação de deformação nos seus terminais e, por essa razão, esse instrumento serve também para medir as referidas deformações.

O cursor-ponteiro da leandrometro acusa ação de uma força defletindo para a direita ou para a esquerda (dependendo do sentido da força).

Dinamômetro

Com sua escala graduada convenientemente (em unidades de intensidades de forças), o leandrometro torna-se um medidor de intensidade de força e recebe a denominação de dinamômetro.

Para medir a intensidade da força, é necessário que o dinamômetro seja impresso pela mesma; por isso, ele deve ser ligado sempre em série com o corpo dinamoscópico ou trecho do sistema imprimido pela intensidade de força a ser medida. Em consequência, o instrumento deve apresentar uma intensidade elástica muito pequena, pois, ao ser introduzido no sistema, sua intensidade elástica interna altera as condições da medida. O valor máximo de intensidade de força que um diâmetro pode indicar chama-se por valor de fundo de escala.

Trena

Graduando-se a escala do leandrômetro em unidades de comprimento, esse instrumento torna-se uma trena, que é um medidor de deformações elásticas.

Para indicar uma variação de deformação, a trena deve ser submetida a essa variação de deformação; assim, é necessário que ela esteja ligada em paralelo com o corpo dinamoscópico ou trecho do sistema cuja variação de deformação nos terminais almeja-se medir. A medida da variação da deformação será mais exata quanto menor for a intensidade de força imprimida na erra; ou, em outros termos, a trena deve apresentar uma maior intensidade elástica interna. O máximo valor da variação da deformação que uma trena pode indicar denomina-se valor de fundo de escala.

Porém, como esses instrumentos não podem ser considerados ideais, conclui-se que, sempre que os instrumentos de medidas não forem considerados ideais, devem-se considerar suas intensidades elásticas internas para efetuar o cálculo da intensidade de força e das deformações.

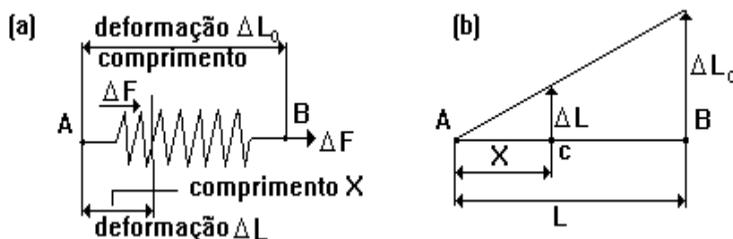
5. Distribuição da Deformação Elástica ao Longo de um Corpo Dinamoscópico

Quando um corpo dinamoscópico (AB), homogêneo de seção reta uniforme apresentando uma intensidade elástica total (I) e um comprimento (L) (figura 1-a) é submetido a uma variação de deformação (ΔL_0), a intensidade de força que se encontra imprimida nesse corpo é dada pela seguinte relação matemática:

$$\Delta F = \Delta L_0 / I$$

Considere agora a porção do corpo dinamoscópico situada entre os pontos (A) e (C) (sendo que C é um ponto qualquer desse corpo) e calculando-se a variação da deformação entre os pontos considerados. Pela primeira lei de Leandro tem-se a seguinte expressão:

$$\Delta L = i \cdot \Delta F$$



Então utilizando a expressão da intensidade de força, obtém-se:

$$\Delta L_0/I = \Delta L/i$$

Portanto, conclui-se que:

$$\Delta L = \Delta L_0 \cdot i/I \quad \text{(I)}$$

Sendo que a letra (A) representa a área da seção transversal do corpo dinamoscópico e a letra (η) representa a característica dinamoscópica do material, obtém-se, de acordo com a terceira lei de Leandro:

$$i = \eta \cdot X/A$$

E

$$I = \eta \cdot L_0/A$$

Dividindo membro a membro, resulta que:

$$i/I = (\eta \cdot X/A) / (\eta \cdot L_0/A)$$

Sabendo-se que os produtos dos meios são iguais ao produto dos extremos, conclui-se que:

$$i/I = X/L_0 \quad \text{(II)}$$

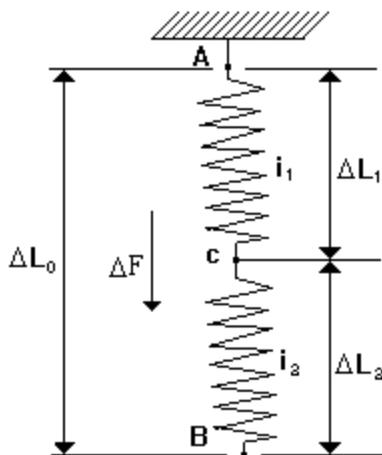
Nessas condições, de acordo com as fórmulas (I) e (II) acima exposta, pode-se exprimir a variação da deformação (ΔL) em função do comprimento da porção considerada do corpo dinamoscópico, bastando simplesmente substituir convenientemente as referidas expressões. O que resulta:

$$\Delta L = \Delta L_0 \cdot X/L_0 \quad \text{(III)}$$

A expressão anterior mostra que a variação da deformação (ΔL), entre os pontos (C) e (A), é proporcional ao comprimento (X) do corpo dinamoscópico, situado entre esses dois pontos. Torna-se dessa maneira possível construir uma escala de deformações ao longo do corpo dinamoscópico, com valores desde zero (para $X = 0$) até ΔL_0 (para $X = L$), conforme indica a figura (1 – b). Tal escala é de grande importância na prática cotidiana, em sistemas especiais de medida, chamados por sistemas leandrométricos.

6. Divisores de Deformações

Por intermédio do estudo concluído no item anterior, conclui-se facilmente que no sistema caracterizado pela seguinte figura:



A variação da deformação (ΔL_1) entre os pontos (A) e (C) é uma fração de deformação total (ΔL_0) resultante entre os extremos da associação dos corpos dinamoscópicos (i_1) e (i_2)