



Resistência dos Materiais Aplicada a Saneamento

Wildemberg Raiol de Assunção

Presidência da República Federativa do Brasil
Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica

© Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Este caderno foi elaborado em parceria entre o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Campus Belém e a Universidade Federal de Santa Maria para a Rede e-Tec Brasil.

Equipe de Elaboração
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Pará – IFPA-Belém

Reitor
Edson Ary de O. Fontes/IFPA-Belém

Direção Geral
Darlindo Maria Pereira Veloso Filho/IFPA-Belém

Coordenação Institucional
Erick Alexandre de Oliveira Fontes/IFPA-Belém

Coordenação de Curso
Wuyllen Soares Pinheiro/IFPA-Belém

Professor-autor
Wildemberg Raiol de Assunção/IFPA-Belém

Equipe Técnica
Carlos Lemos Barboza/IFPA-Belém
Fabiano Darlindo Veloso/IFPA-Belém
Gisely Regina Lima Rebelo/IFPA-Belém
Oscar Jesus Choque Fernandez/IFPA-Belém

Equipe de Acompanhamento e Validação
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria – CTISM

Coordenação Institucional
Paulo Roberto Colusso/CTISM

Coordenação Técnica
Iza Neuza Teixeira Bohrer/CTISM

Coordenação de Design
Erika Goellner/CTISM

Revisão Pedagógica
Andressa Rosemárie de Menezes Costa/CTISM
Francine Netto Martins Tadielo/CTISM
Marcia Migliore Freo/CTISM

Revisão Textual
Eduardo Lehnhart Vargas/CTISM
Lourdes Maria Grotto de Moura/CTISM
Vera da Silva Oliveira/CTISM

Revisão Técnica
Marcos Vaghetti/CT-UFSM

Ilustração
Gabriel La Rocca Cóser/CTISM
Marcel Santos Jacques/CTISM
Rafael Cavalli Viapiana/CTISM
Ricardo Antunes Machado/CTISM

Diagramação
Cássio Fernandes Lemos/CTISM
Leandro Felipe Aguilar Freitas/CTISM

Ficha catalográfica elaborada por Maristela Eckhardt – CRB 10/737
Biblioteca Central da UFSM

**A851r Assunção, Wildemberg Raiol de Resistência dos materiais /
Wildemberg Raiol de Assunção. – Belém, PA : IFPA-Belém ;
Santa Maria : UFSM, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria ;
Rede e-Tec Brasil, 2013.
71 p. : il. ; 28 cm**

**1. Engenharia mecânica 2. Engenharia dos materiais 3.
Resistência dos materiais 4. Saneamento I. Título.**

CDU 620.1

Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,

Bem-vindo ao e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional pública de ensino, a Escola Técnica Aberta do Brasil, instituída pelo Decreto nº 6.301, de 12 de dezembro de 2007, com o objetivo de democratizar o acesso ao ensino técnico público, na modalidade a distância. O programa é resultado de uma parceria do Ministério da Educação, por meio das Secretarias de Educação a Distância (SEED) e de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), as universidades e escolas técnicas estaduais e federais.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade e ao promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes dos grandes centros geográfica e ou economicamente.

O e-Tec Brasil leva os cursos técnicos a locais distantes das instituições de ensino e para a periferia das grandes cidades, incentivando os jovens a concluir o ensino médio. Os cursos são ofertados pelas instituições públicas de ensino, e o atendimento ao estudante é realizado em escolas-polo integrantes das redes públicas municipais e estaduais.

O Ministério da Educação, as instituições públicas de ensino técnico, seus servidores técnicos e professores acreditam que uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e da educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!

Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação
Janeiro de 2010

Nosso contato
etecbrasil@mec.gov.br



Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



Atenção: indica pontos de maior relevância no texto.



Saiba mais: oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



Glossário: indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



Mídias integradas: sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



Atividades de aprendizagem: apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



Sumário

Palavra do professor-autor	9
Apresentação da disciplina	11
Projeto instrucional	13
Aula 1 – Considerações gerais	15
1.1 Conceito.....	15
1.2 Objeto de estudo.....	16
1.3 Sistemas de unidades.....	17
1.4 Correlação entre as várias ciências.....	18
1.5 Estática técnica.....	18
1.6 Conceitos diversos.....	19
1.7 Leis de Newton.....	19
1.8 Estudo de forças coplanares.....	20
1.9 Momento.....	21
1.10 Princípios fundamentais.....	22
1.11 Equilíbrio de forças.....	25
Aula 2 – Equilíbrio de corpos rígidos	35
2.1 Equilíbrio de um corpo rígido.....	35
2.2 Objetivos da resistência dos materiais.....	36
2.3 Definições básicas.....	37
2.4 Esforços externos ativos.....	37
2.5 Tipos de apoios ou vínculos.....	38
2.6 Ações.....	39
2.7 Reações de apoio.....	41
Aula 3 – Tração e compressão	47
3.1 Materiais sólidos x solicitações.....	47
3.2 Solicitação.....	47
3.3 Tensão.....	47
3.4 Treliças isostáticas.....	49
3.5 Estudo de tração no aço.....	54

Referências	70
Currículo do professor-autor	71

Palavra do professor-autor

Olá!

Para poder transformar a natureza, o homem precisa de ferramentas e tecnologias. Para criar tecnologia, precisa de teorias que correspondam à sistematização de conhecimentos e à descoberta de leis naturais que orientam seu trabalho. Depois de criar uma série de teorias, algumas das quais superam e substituem outras, o homem procura sistematizá-las dando-lhe nomes, delimitando suas validades e estabelecendo um grau de hierarquia entre elas.

Do estudo das estruturas (casas, pontes, veículos, etc.) surge a resistência dos materiais.

Professor Wildemberg Raiol de Assunção



Apresentação da disciplina

Desde a antiguidade, quando o homem iniciou a arte e a ciência de construir, há a necessidade de se obterem conhecimentos da resistência dos materiais. Foi observado que apenas com tais conhecimentos haveria a possibilidade de gerar regras, padrões e procedimentos para determinar quais dimensões seriam seguras para atuar como elementos em dispositivos e estruturas.

As civilizações mais antigas da humanidade já haviam se lançado no estudo dos materiais. Os egípcios inegavelmente já possuíam grandes conhecimentos dessa área, pois sem eles seria impossível serem construídas as pirâmides do Egito. Logo à frente, os gregos trariam mais um avanço na construção, criando e utilizando princípios de estática, a qual corresponde a base da resistência dos materiais. Arquimedes (287-212 a.C.) deu uma enorme prova a respeito de condições de equilíbrio, ao utilizar uma alavanca, esboçando métodos de verificação de centro de gravidade dos corpos. Aplicou também sua teoria na construção de grandes dispositivos, tais como guinchos e guindastes.

O dimensionamento de peças, que é o maior objetivo de resistência dos materiais, se resume em analisar as forças atuantes na peça, para que a sua inércia continue existindo e para que ela suporte os esforços empregados. Para isso é preciso conhecer o limite do material. Isso pode ser obtido através de ensaios que, basicamente, submetem a peça ao esforço que ela deverá sofrer onde será empregada, a condições padrão, para que se possa analisar o seu comportamento. Esses dados são demonstrados em gráficos de tensão x deformação. A tensão em que nos baseamos é o limite entre o regime elástico e o plástico. Mas para fins de segurança é utilizado um c.s. (coeficiente de segurança) que faz com que dimensionemos a peça para suportar uma tensão maior que a tensão limite mencionada. Tudo isso é necessário para que se obtenha total certeza nos resultados, já que pequenos erros podem acarretar grandes problemas mais adiante, isso se agrava mais ainda se estivermos falando de pessoas que podem ter suas vidas colocadas em perigo por um cálculo mal feito. A ciência de resistência dos materiais é também muito importante para que não se tenha prejuízos, gastando mais material do que o necessário e acarretando também outro problema que é o excesso de peso.



Projeto instrucional

Disciplina: Resistência dos Materiais Aplicada a Saneamento (carga horária: 60h).

Ementa: Estática técnica. Estudo de forças coplanares. Equilíbrio de forças. Equilíbrio de corpos apoiados. Equilíbrio de corpos suspensos. Tração e compressão. Tensão normal. Lei de Hooke. Estudo de treliças isostáticas. Estudo de tração no aço. Diagrama: tensão x deformação. Tipos de carregamento. Vigas isostáticas. Diagrama de esforço cortante e momento fletor. Tensão na flexão. Cisalhamento na flexão.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Considerações gerais	Compreender a resistência dos materiais. Identificar os principais conceitos referentes à resistência dos materiais, desde a estática técnica e estudo de forças coplanares. Analisar o estudo do equilíbrio de forças.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	20
2. Equilíbrio de corpos rígidos	Compreender as estruturas do dia a dia, da natureza, de concreto simples, armado e outros. Identificar os corpos rígidos. Analisar o equilíbrio de corpos apoiados, equilíbrio de corpos suspensos e o equilíbrio de corpos apoiados e suspensos.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	20
3. Tração e compressão	Compreender o comportamento de materiais sólidos submetidos a solicitações mecânicas de tração e compressão. Identificar as formas de combate às solicitações em peças estruturais através da tensão normal, Lei de Hooke, estudo de treliças isostáticas. Analisar o estudo de tração no aço, diagrama: tensão x deformação, tipos de carregamento, vigas isostáticas, diagrama de esforço cortante e momento fletor, tensão na flexão, cisalhamento na flexão.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	20

Aula 1 – Considerações gerais

Objetivos

Compreender a resistência dos materiais.

Identificar os principais conceitos referentes à resistência dos materiais, desde a estática técnica e estudo de forças coplanares.

Analisar o estudo do **equilíbrio** de forças.

1.1 Conceito

A resistência dos materiais é um ramo da mecânica que estuda as relações entre cargas externas aplicadas a um corpo deformável e a intensidade das forças internas que atuam dentro do corpo com abrangência no cálculo da **deformação** do corpo e no estudo da **estabilidade** do corpo quando ele está submetido a forças externas.

Exemplo

Vamos supor que se pretenda assentar uma peça de grande peso sobre uma **estrutura** de suporte (prancha) que, por sua vez, se assente sobre dois apoios, A e B (Figura 1.1).

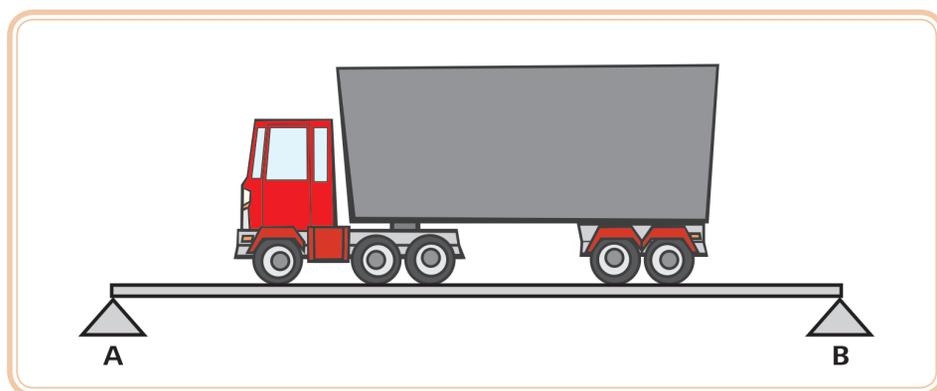


Figura 1.1: Estrutura biapoiada

Fonte: Hibbeler, 2000

A-Z

equilíbrio

Estado ou condição de um sistema sob ação de duas ou mais forças que se anulam entre si, o que resulta em sua estabilidade, se não houver ação de novas forças; estabilidade de um corpo em sua postura normal; igualdade entre duas ou mais forças opostas; equiparação; proporcionalidade.

deformação

Ação ou resultado de deformar-se, de mudar de forma; perda da forma original; alteração.

estabilidade

Firmeza, equilíbrio, solidez, segurança; propriedade pela qual um sistema (mecânico, elétrico, aerodinâmico) retorna ao estado de equilíbrio depois de sofrer alguma perturbação.

estrutura

Modo como se dispõem ou articulam as partes que formam um todo, seja concreto, seja abstrato; a parte que constitui o elemento de sustentação de um todo e de sua resistência a cargas, pressões, etc.; obra construída pela junção ou articulação de partes; o conjunto de elementos básicos que dão sustentação a uma obra.

A-Z

esforço

Aplicação, mobilização de força (física ou mental, ou moral), energia, empenho, pertinácia, etc., para realizar ou alcançar um objetivo.

A estrutura receberá essa carga e sofrerá com isso uma série de **esforços**, deformando-se. A resistência dos materiais determinará tais esforços e a lei da deformação dessa viga. Conhecendo o material com que se construiu a estrutura-suporte, saberemos:

- Se com o material usado no suporte e em face de suas dimensões, exemplo espessura, a estrutura ou resiste à solitação ou se rompe.
- As deformações que ocorrerão.

1.2 Objeto de estudo

A resistência dos materiais procura estudar:

- Estruturas que possam ser associadas a barras de eixo retilíneo.
- Estruturas que obedeçam a uma lei, segundo a qual: se uma barra for submetida a uma carga “q” ela se deformará “x” e se a carga for “2q” a deformação deverá ser “2x”. A importância dessa lei, chamada Lei de Hooke, será demonstrada neste curso.

1.2.1 Situações de pequenas deformações



A resistência dos materiais aqui estudada fornecerá os fundamentos para a compreensão e o estudo das seguintes estruturas:

- Do dia a dia.
- Da natureza.
- De pedra, de taipa e de alvenaria.
- De aço, de alumínio, etc.
- De concreto simples e armado.
- De equipamentos.
- De outras.

1.3 Sistemas de unidades

$$1 \text{ N} = 100 \text{ g} = 0,10 \text{ kgf} \quad (1 \text{ kgf} = 1000 \text{ g})$$
$$1 \text{ kgf} = 10 \text{ N}$$

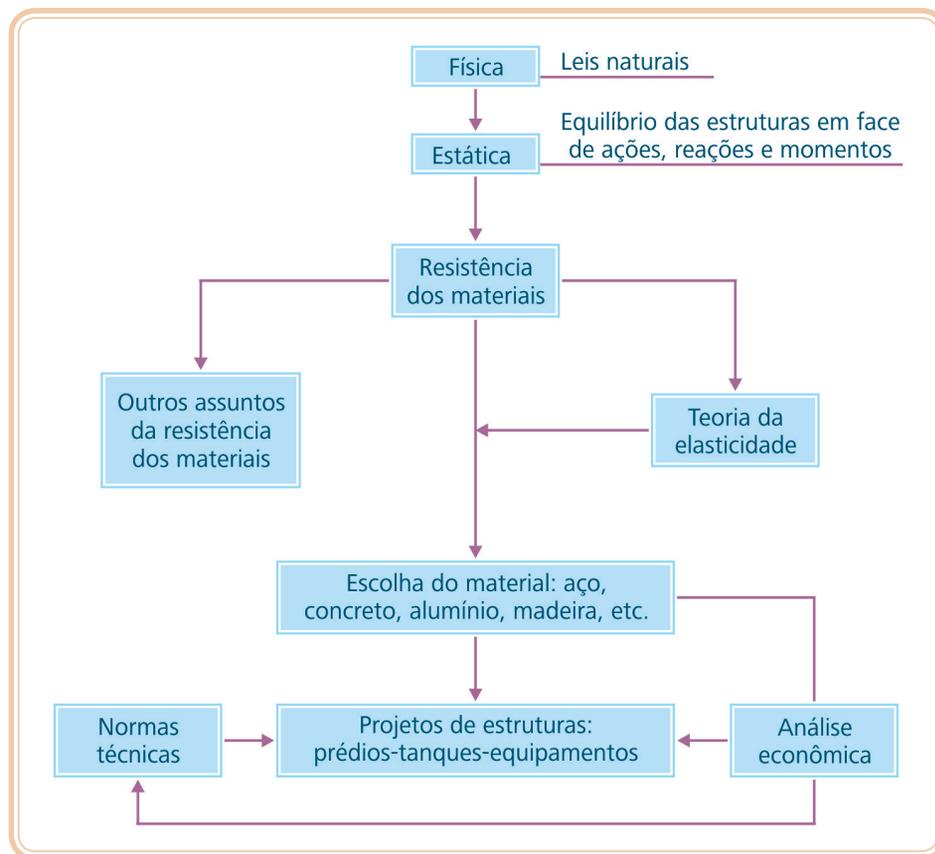
$$1 \text{ tf} = 1000 \text{ kgf}$$
$$1 \text{ tf} = 10^3 \text{ kgf}$$

$$F = m \times a$$
$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2$$
$$1 \text{ N} = 1000 \text{ g} \times 100 \text{ cm/s}^2$$
$$1 \text{ N} = 10^3 \text{ g} \times 10^2 \text{ cm/s}^2$$
$$1 \text{ N} = 10^5 \times (\text{g} \times \text{cm/s}^2) \rightarrow \text{dyna}$$
$$1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyn}$$

$$1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyn}$$
$$1 \text{ kgf} = 10 \text{ N}$$
$$1 \text{ kN} = 100 \text{ kgf}$$

$$1 \text{ Pa} = \text{N/m}^2$$
$$1 \text{ MPa} = 10^6 \times (10^{-1} \text{ kgf} / 10^4 \text{ cm}^2)$$
$$1 \text{ MPa} = 10 \text{ kgf/cm}^2$$

1.4 Correlação entre as várias ciências



A-Z

rígido

Que é resistente a pressão, flexão, torção; concebido e/ou feito com exatidão e rigor; que não é flexível, maleável, que é exato.



A finalidade da estática, como já foi dito em outras palavras, é estudar os sistemas em equilíbrio, isto é, onde são nulos os movimentos de translação e rotação.

A estática trata do cálculo das forças externas que atuam em corpos rígidos em equilíbrio. A determinação das tensões e deformações internas envolve uma análise das características do material em questão. Essa análise é feita no contexto da mecânica dos corpos deformáveis que deve seguir o estudo da estática.

Figura 1.2: Correlação entre as várias ciências

Fonte: CTISM, adaptado de autor

1.5 Estática técnica

O estudo da **estática** compreende a ação de forças exteriores sobre um corpo **rígido**, em posição de repouso.

As forças grupam-se em sistemas que recebem denominações segundo a posição relativa que guardam entre si.

Temos assim sistemas de forças concorrentes, paralelas e quaisquer direções. Qualquer desses sistemas pode ser coplanar ou espacial.

Todo sistema pode ser substituído pela ação de duas forças que, em relação a um ponto qualquer, venham produzir o mesmo efeito que o sistema dado. Esses efeitos são a resultante e o momento resultante.

A resultante é a soma **vetorial** das projeções das forças do sistema, portanto, capaz de produzir translação segundo a direção do seu suporte.

O momento é a soma vetorial dos momentos das forças do sistema, portanto, capaz de produzir rotação.

1.6 Conceitos diversos

1.6.1 Mecânica

É o ramo das ciências físicas associadas com o estado de repouso ou de movimento de corpos submetidos à ação de forças.

1.6.2 Massa

É a medida da inércia de um corpo que, por sua vez, é sua resistência à mudança de velocidade. Massa também pode ser entendida como a quantidade de matéria em um corpo. De maior importância em estática, massa também é uma propriedade de todos os corpos. Através dela eles experimentam atração mútua com outros corpos.

1.6.3 Força

É uma consequência da ação de um corpo sobre outro. Uma força tende a mover o corpo no qual ela está aplicada, na direção de sua linha de ação. A ação de uma força é caracterizada por sua intensidade ou módulo, sua direção e por seu ponto de aplicação. Força é uma quantidade vetorial.

1.6.4 Corpo rígido

Um corpo é considerado rígido, quando um movimento relativo entre suas partes é desprezível. Por exemplo, o cálculo das tensões em um cabo que suporta a **lança de um guindaste** móvel submetida a um carregamento não é substancialmente afetado pelas pequenas deformações que ocorrem nos elementos estruturais da lança. Dessa forma, para a determinação das forças externas que atuam na lança, considera-se, para todos os propósitos, a lança um corpo rígido.

1.7 Leis de Newton

Isaac Newton foi o primeiro a estabelecer corretamente as leis básicas que governam o movimento de uma partícula, assim como a demonstrar sua validade (Quadro 1.1). Adaptadas à terminologia moderna, essas leis podem ser enunciadas da seguinte forma:

A-Z

vetorial

Segmento de reta com módulo, direção e sentido, que se relaciona aos vetores, diz-se, também, da análise que estuda as noções relativas aos campos de vetores (cálculo vetorial), diz-se da função que assume valores em um espaço vetorial; diz-se da grandeza física cuja definição exige valor numérico, direção e sentido, diz-se do processador aritmético de alto desempenho usado para cálculo vetorial.

A-Z

lança de um guindaste

A parte mais identificável de qualquer guindaste é a lança. Trata-se do braço de aço no guindaste que suporta a carga. Saindo de trás da cabine de comando do operador, ela é a peça essencial de um guindaste, permitindo que a máquina eleve cargas a grandes alturas.



Assista a vídeo aula “Física – Leis de Newton”, que traz numa abordagem em forma de aulas uma explicação das três leis de Newton. Acesse: <http://www.youtube.com/watch?v=v1EVhAp49vi&feature=related>

Primeira lei – uma partícula permanece em repouso, ou continua a mover-se em linha reta com uma velocidade constante, se não existir nenhuma força agindo sobre ela.

Segunda lei – a aceleração de uma partícula é proporcional à força resultante que age sobre ela e possui a mesma direção.

Terceira lei – as forças de ação e reação entre dois corpos que interagem entre si são iguais em intensidade, colineares e de sentidos opostos.

Unidade – a mecânica lida com quatro grandezas fundamentais: comprimento, massa, força e tempo.

Quadro 1.1: Grandeza, unidade e símbolo

Grandeza	Símbolo dimensional	Unidade	Símbolo
Massa	M	quilograma	kg
Comprimento	L	metro	m
Tempo	T	segundo	s
Força	F	newton	N

Fonte: autor

1.8 Estudo de forças coplanares

Força é a ação exercida por um corpo sobre outro. Os efeitos de uma força sobre um corpo são:

- Movimento ou alteração de movimento do corpo.
- Deformação do corpo.

Uma força é representada por um vetor (Figura 1.3).

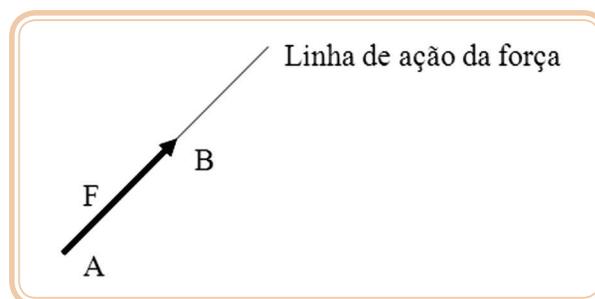


Figura 1.3: Representação de uma força por vetor

Fonte: autor

As características de uma força são:

- a) **Direção** – posição da linha de ação.
- b) **Intensidade** – é o valor da força. Exemplo: 3 kN, 800 N, 1250 kgf.
- c) **Sentido** – de A para B, indicado pela seta (Figura 1.3).
- d) **Ponto de aplicação** – local onde a força atua.

1.9 Momento

O momento é a intensidade de uma força pela distância do ponto à linha de ação da mesma.

O ponto O é chamado centro de momento, e o eixo Y, em torno do qual o momento atua, é perpendicular ao plano (Figura 1.4).

Equação 1.1

$$M_o^F = |F| \times d$$

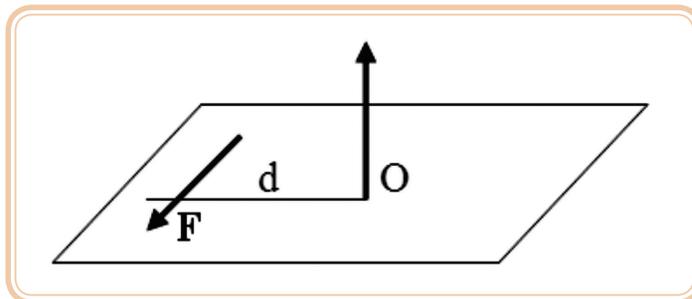


Figura 1.4: Momento

Fonte: autor

A representação do momento é feita por uma flecha dupla, ou por uma flecha circular orientada (Figura 1.5).



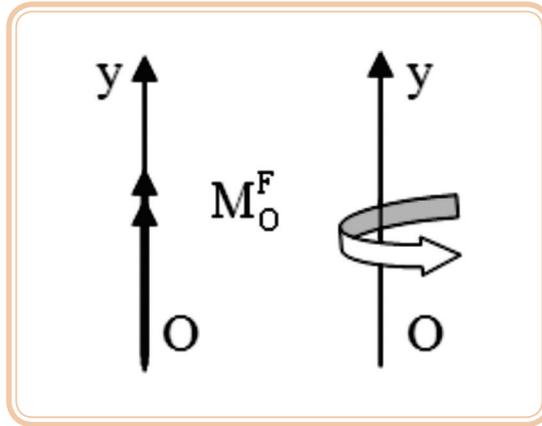


Figura 1.5: Representação de um momento

Fonte: autor

1.10 Princípios fundamentais

1.10.1 Princípio de igualdade da ação e da reação

“A toda ação corresponde uma reação igual e contrária”, 3ª Lei de Newton (Figura 1.6), Isaac Newton, 1687.

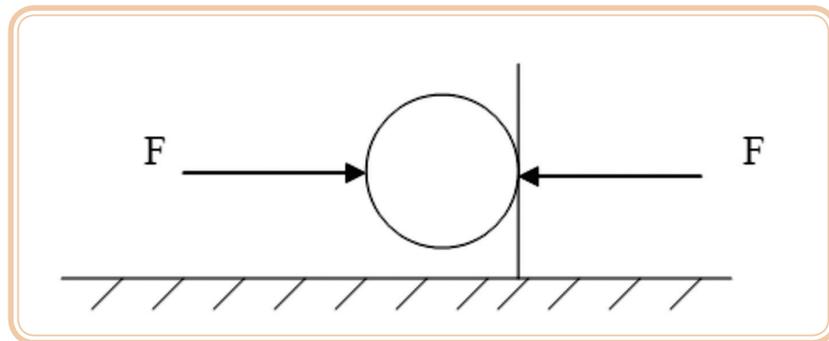


Figura 1.6: Ação e reação

Fonte: autor

1.10.2 Princípio de Stevin

“Quando duas forças atuam sobre um mesmo ponto, seus efeitos são os mesmos como se atuasse uma força única, de intensidade, direção e sentido definidos pela diagonal do paralelogramo construído sobre as duas forças” (Figura 1.7). Lei de Stevin, Simon Stevin, final do século XVI.

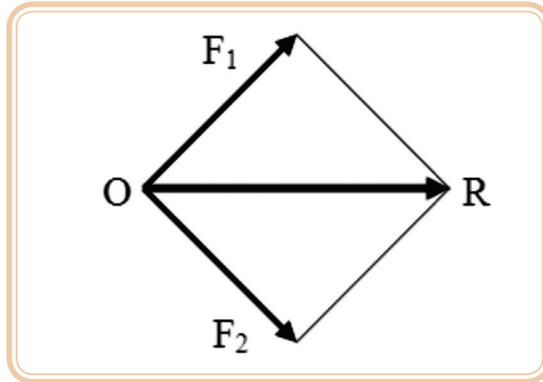


Figura 1.7: Princípio de Stevin

Fonte: autor

O princípio de Stevin pode ser estendido a um número maior de forças (Figura 1.8).

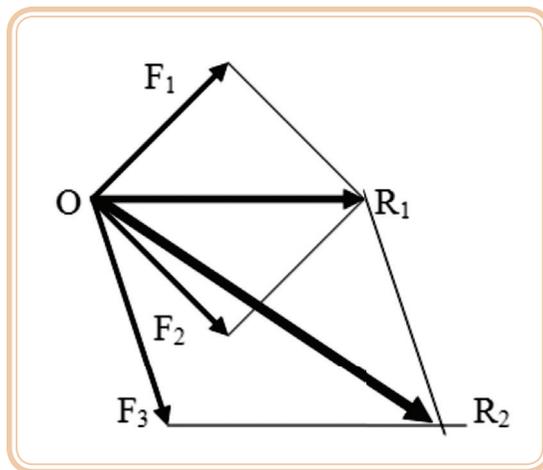


Figura 1.8: Princípio de Stevin com maior número de forças

Fonte: autor

1.10.3 Teorema de Varignon

“Em um sistema de forças concorrentes em um ponto O, o momento resultante dessas forças em relação a um ponto O, é igual ao momento da resultante do sistema” (Figura 1.9). Tese de Varignon, Pierre Varignon, 1687.

Equação 1.2

$$M_o^{F_1} + M_o^{F_2} + M_o^{F_3} = M_o^R$$

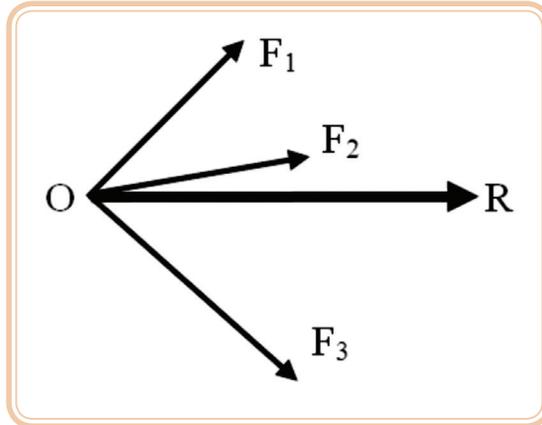


Figura 1.9: Teorema de Varignon

Fonte: autor

1.10.4 Conjugado binário

O momento produzido por duas forças iguais, opostas e paralelas é conhecido como conjugado ou binário (Figura 1.10).

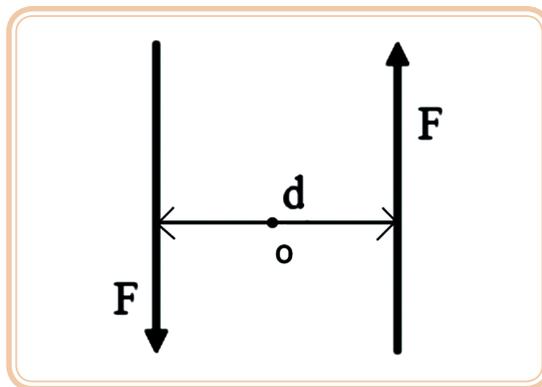


Figura 1.10: Conjugado binário

Fonte: autor

$$M_o^F = |F| \times d \quad R = 0$$

O vetor momento é perpendicular ao plano que contém as duas forças (Figura 1.11).

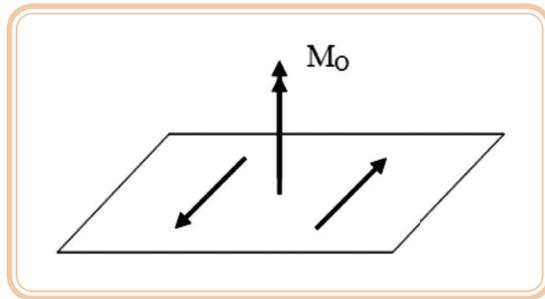


Figura 1.11: Vetor momento
Fonte: autor

1.11 Equilíbrio de forças

1.11.1 Sistemas planos de forças concorrentes

1.11.1.1 Decomposição

A decomposição de uma força ocorre em dois eixos ortogonais (Figura 1.12).

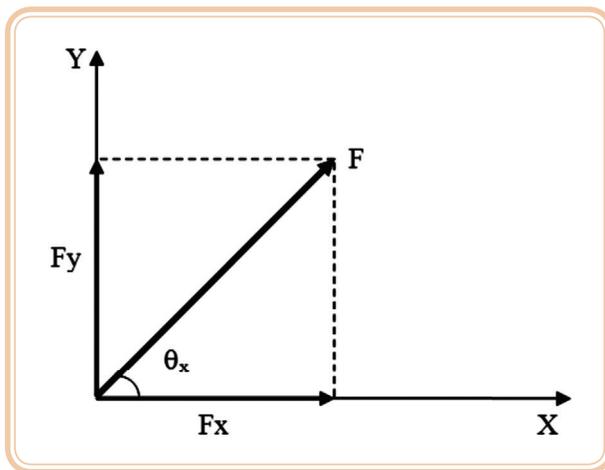


Figura 1.12: Decomposição
Fonte: autor

$$F_x = F \times \cos x \text{ (projeção de } F \text{ sobre o eixo X)}$$
$$F_y = F \times \sen x \text{ (projeção de } F \text{ sobre o eixo Y)}$$

Para um sistema plano de forças concorrentes, decompõem-se cada força e, por somatória, obtém-se a resultante das projeções em cada eixo (Figura 1.13).



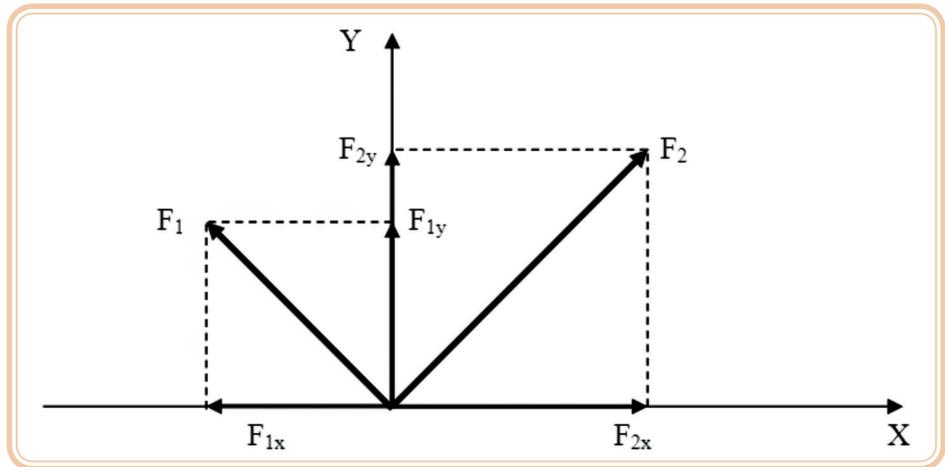


Figura 1.13: Decomposição de um sistema de forças concorrentes

Fonte: autor

$$R_x = \sum F_{ix} \quad R_y = \sum F_{iy}$$

1.11.1.2 Redução

Um sistema plano de forças concorrentes num ponto único é redutível a uma resultante, passando pelo ponto de concorrência (Figura 1.14).

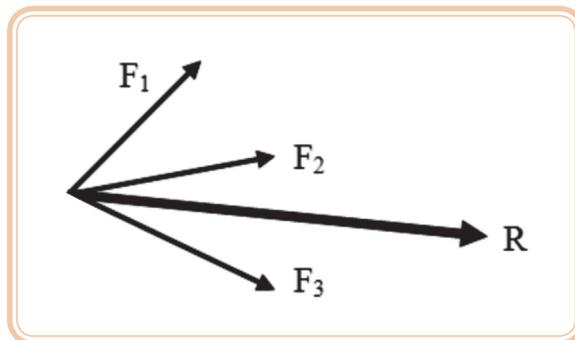


Figura 1.14: Resultante

Fonte: autor



Para se obter o valor da resultante do sistema, decompõem-se as forças dadas segundo um sistema de eixos ortogonais X e Y, em seguida fazem-se.

$$R = \sqrt{(\sum F_{ix})^2 + (\sum F_{iy})^2}$$

Posição da resultante (Figura 1.15).

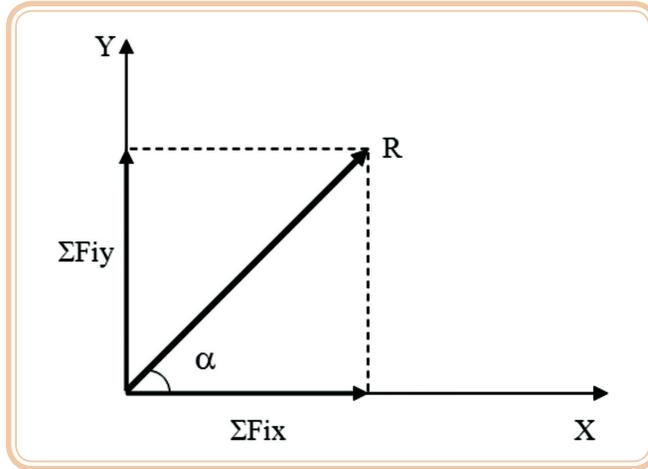


Figura 1.15: Posição da resultante

Fonte: autor



Assista aos vídeos
 "Novo Telecurso – Ensino Médio – Física – Aula 07 (1 de 2) e Novo Telecurso – Ensino Médio – Física – Aula 07 (2 de 2)", que traz numa abordagem em forma de aulas com uma explicação simples sobre força, momento e equilíbrio de forças. Acesse:
<http://www.youtube.com/watch?v=xXEupGV0-NM&feature=related>

<http://www.youtube.com/watch?v=c-un8qvL9al&feature=related>

$$\text{tg}\alpha = \frac{\Sigma F_{iy}}{\Sigma F_{ix}}$$

1.11.1.3 Condições de equilíbrio

$$\Sigma F_{ix} = 0 \quad \Sigma F_{iy} = 0$$

1.11.2 Sistemas planos de forças concorrentes

1.11.2.1 Redução

Este sistema de forças reduz-se a uma força resultante R e, a um momento resultante em relação a um ponto arbitrário O (M^R_O) (Figura 1.16).

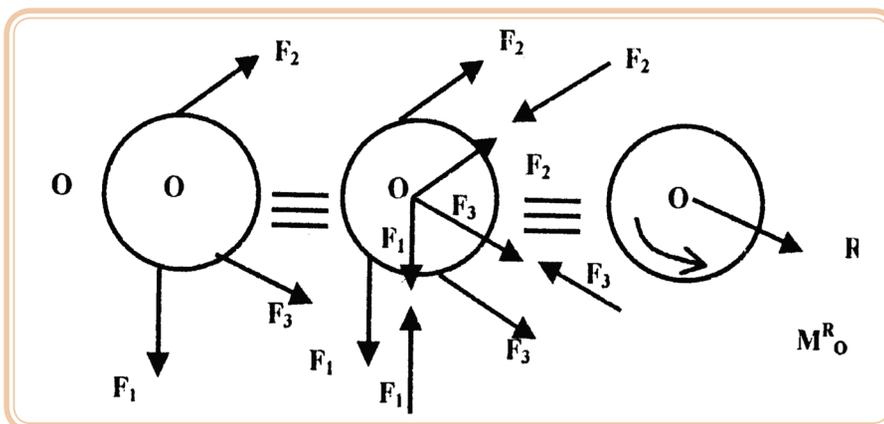


Figura 1.16: Sistema de forças não concorrentes

Fonte: autor

1.11.2.2 Condições de equilíbrio

As condições de equilíbrio dos sistemas planos de forças não concorrentes expressam-se por três equações (duas de projeção e uma de momento).

$$\Sigma F_{ix}=0 \quad \Sigma F_{iy}=0 \quad \Sigma M_o=0$$

Ou ainda por três equações de momentos, em relação a três pontos não colineares.

$$\Sigma M_{o_1}=0 \quad \Sigma M_{o_2}=0 \quad \Sigma M_{o_3}=0$$

1.11.3 Sistemas planos de forças paralelas

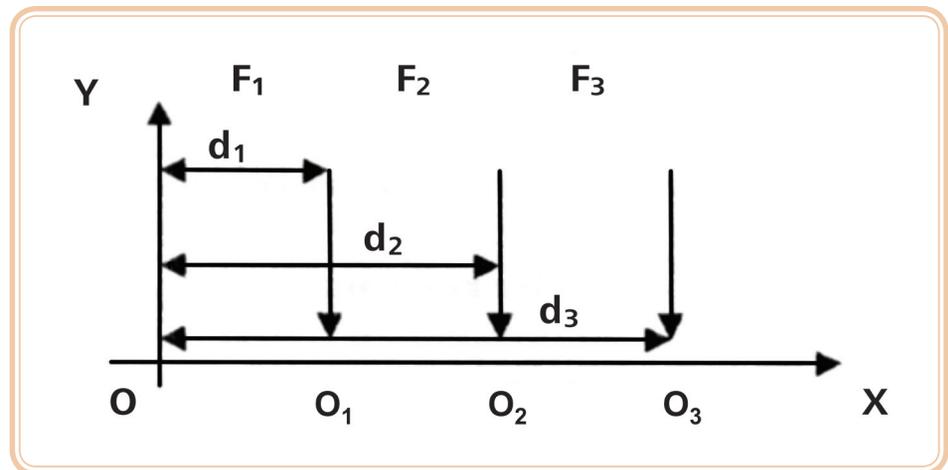


Figura 1.17: Sistema de forças paralelas

Fonte: autor

1.11.3.1 Redução

Reduz-se a uma força resultante R e a um momento resultante M em relação a um ponto arbitrário O.

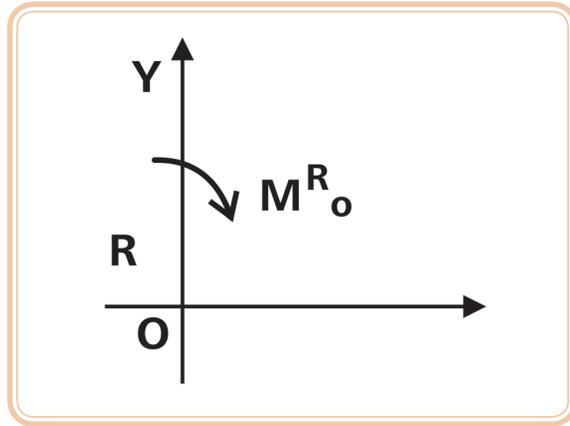


Figura 1.18: Força resultante R e momento resultante M
 Fonte: autor

$$R = \sum F_{iy} = F_1 + F_2 + F_3$$

$$M_0^R = \sum M_i = F_1 \times d_1 + F_2 \times d_2 + F_3 \times d_3$$

1.11.3.2 Posição da resultante

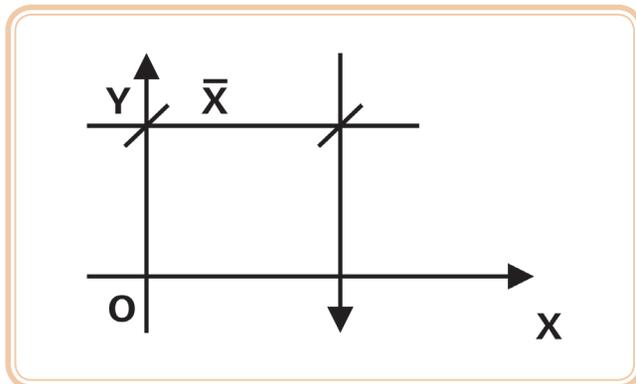


Figura 1.19: Posição da resultante
 Fonte: autor

$$\bar{X} = \frac{M_0^R}{R}$$

1.11.3.3 Condições de equilíbrio

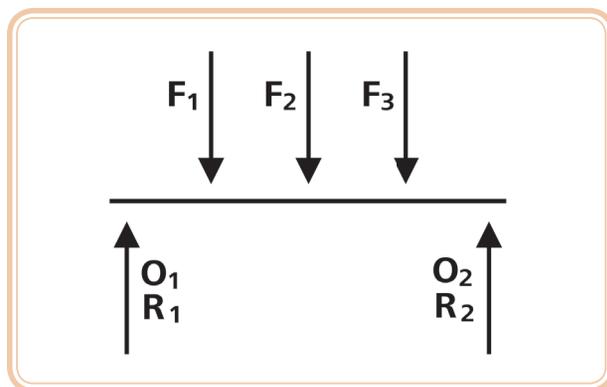


Figura 1.20: Condições de equilíbrio

Fonte: autor

$$\Sigma F_{iy} = 0$$

$$\Sigma M_o = 0$$

As equações de equilíbrio desses sistemas de forças podem ser expressas por duas equações de momentos.

$$\Sigma M_{o_1} = 0$$

$$\Sigma M_{o_2} = 0$$

Resumo

O dimensionamento de peças, objetivo de maior relevância na resistência dos materiais, se resume em analisar as forças atuantes na peça, para que a sua inércia continue existindo e para que ela suporte os esforços empregados. As forças agrupam-se em sistemas que recebem denominações segundo a posição relativa que guardam entre si. As condições de equilíbrio dos sistemas planos de forças não concorrentes expressam-se por três equações (duas de projeção e uma de momento), $\Sigma F_{ix} = 0$, $\Sigma F_{iy} = 0$ e $\Sigma M_o = 0$ ou ainda por três equações de momentos, em relação a três pontos não colineares, $\Sigma M_{o_1} = 0$, $\Sigma M_{o_2} = 0$ e $\Sigma M_{o_3} = 0$.

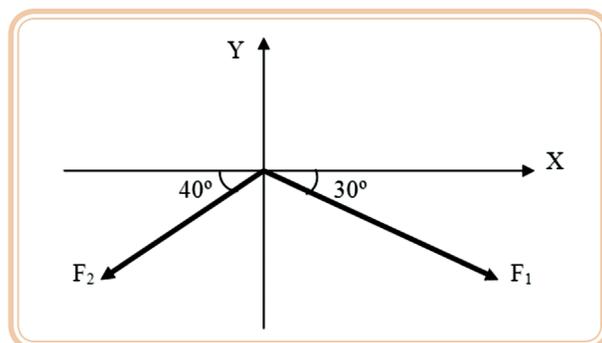
Atividades de aprendizagem



1. Determinar R_x e R_y , para o sistema de forças concorrentes que segue:

$$F_1 = 15 \text{ kN}$$

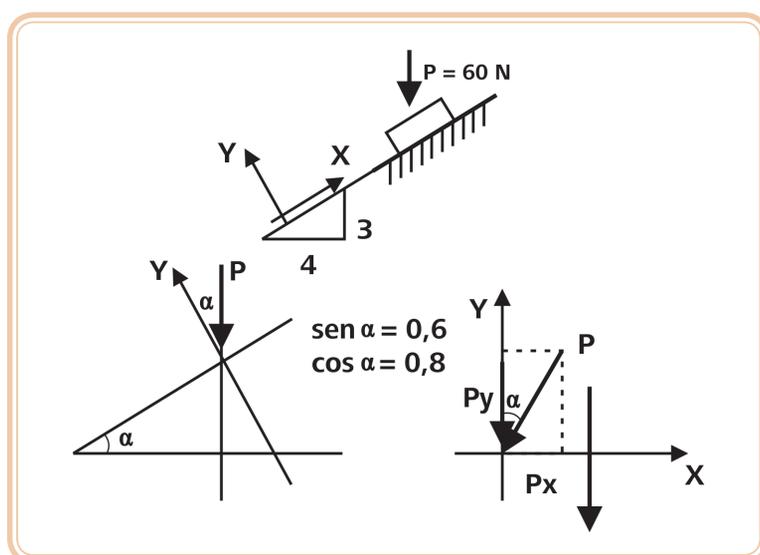
$$F_2 = 20 \text{ kN}$$



Exercício 1.1: Sistema de forças concorrentes

Fonte: autor

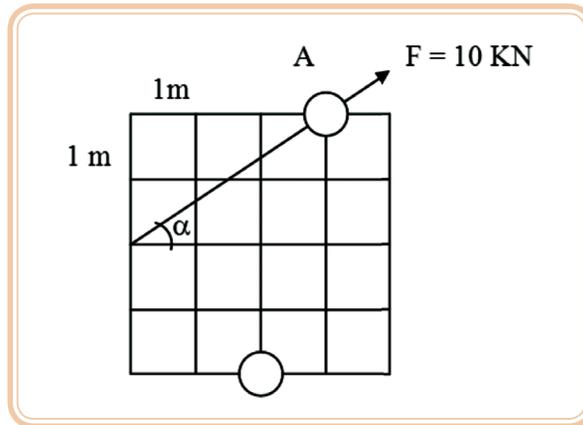
2. O corpo sobre o plano inclinado está sujeito à força vertical mostrada na figura. Determine os componentes da força ao longo dos eixos X e Y.



Exercício 2.1: Plano inclinado

Fonte: autor

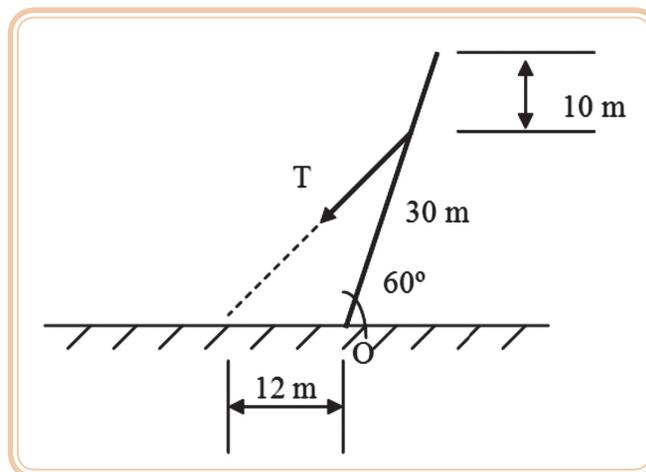
3. A chapa quadrada mostrada é composta de quadrados de 1 m de lado. Uma força $F = 10 \text{ kN}$ está em um ponto A na direção mostrada. Calcular o momento M_B de F em torno do ponto B. Adotar $\alpha = 45^\circ$.



Exercício 3.1: Chapa quadrada

Fonte: autor

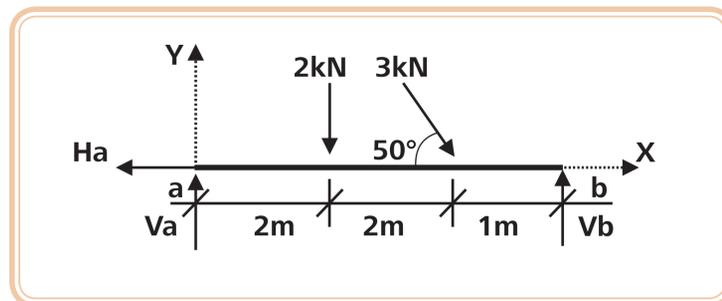
4. Para erguer o mastro a partir da posição mostrada, a tração T no cabo deve fornecer um momento de $72 \text{ kN} \times \text{m}$, em torno do ponto O . Determinar T .



Exercício 4.1: Tração T no cabo de força

Fonte: autor

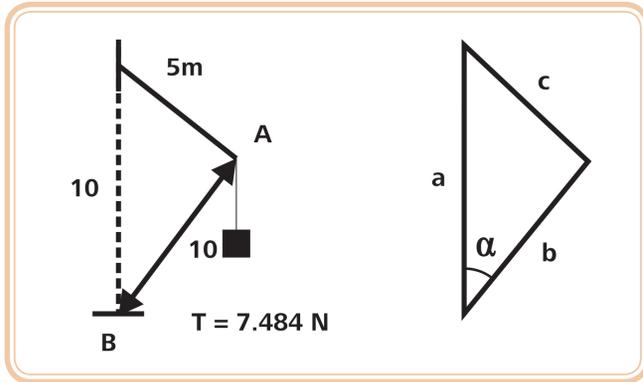
5. Calcule os valores de V_a , V_b e H_a , para que os sistemas de forças da figura abaixo estejam em equilíbrio.



Exercício 5.1: Sistema de forças

Fonte: autor

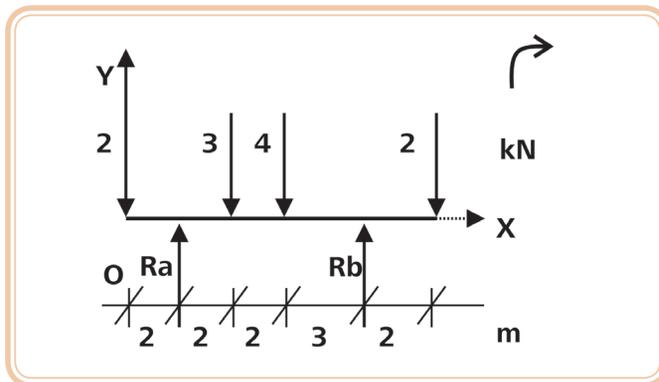
6. A tração T no cabo vertical é igual ao peso do caixote. Calcular os componentes T_t e T_n , nas direções da lança e normal a ela, respectivamente, da força T aplicada pelo próprio caixote à lança em A .



Exercício 6.1: Tração T no cabo vertical

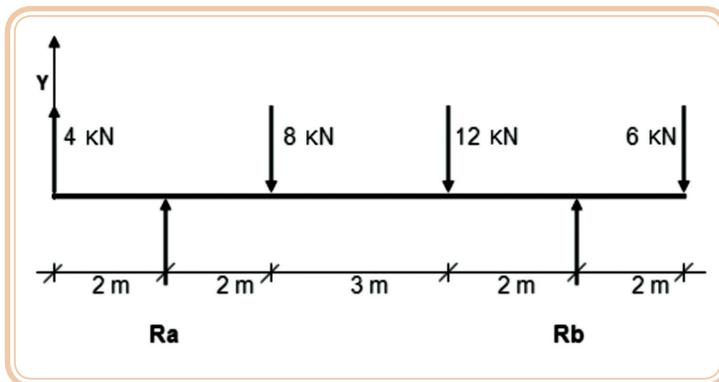
Fonte: autor

7. Calcule os valores de R_a e R_b , para que o sistema de forças se mantenha em equilíbrio nas figuras Exercício 7.1 e 7.2.



Exercício 7.1: Sistemas de forças

Fonte: autor



Exercício 7.2: Sistemas de forças

Fonte: autor

Aula 2 – Equilíbrio de corpos rígidos

Objetivos

Compreender as estruturas do dia a dia, da natureza, de concreto simples, armado e outras.

Identificar os corpos rígidos.

Analisar o equilíbrio de corpos apoiados, equilíbrio de corpos suspensos e o equilíbrio de corpos apoiados e suspensos.

2.1 Equilíbrio de um corpo rígido

Na aula anterior foi referido que as forças exteriores atuantes num corpo rígido podem ser reduzidas a um sistema equivalente força/binário. Quando a força e o binário são nulos, o corpo rígido está em equilíbrio. Dessa forma as condições necessárias e suficientes para o equilíbrio de um corpo rígido estando ele apoiado ou suspenso serão:

$$\Sigma F=0$$

$$\Sigma M_o=0$$

Onde: ΣF = soma de todas as forças que atuam sobre o corpo

ΣM = soma dos momentos de todas as forças em relação a um ponto qualquer

Estabelecendo-se um sistema de coordenadas x, y, z com origem no ponto O , os vetores força e momento podem ser decompostos em componentes ao longo dos eixos de coordenadas, e as duas equações anteriores podem ser escritas em forma escalar.



$$\Sigma F_x=0$$

$$\Sigma F_y=0$$

$$\Sigma F_z=0$$

$$\Sigma M_x=0$$

$$\Sigma M_y=0$$

$$\Sigma M_z=0$$

Sistema coplanar de forças:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$\Sigma M_o = 0$$

Se o ponto O for a origem das coordenadas, então os momentos serão sempre direcionados ao longo do eixo de z, que é perpendicular ao plano que contém as forças conforme a Figura 2.1.

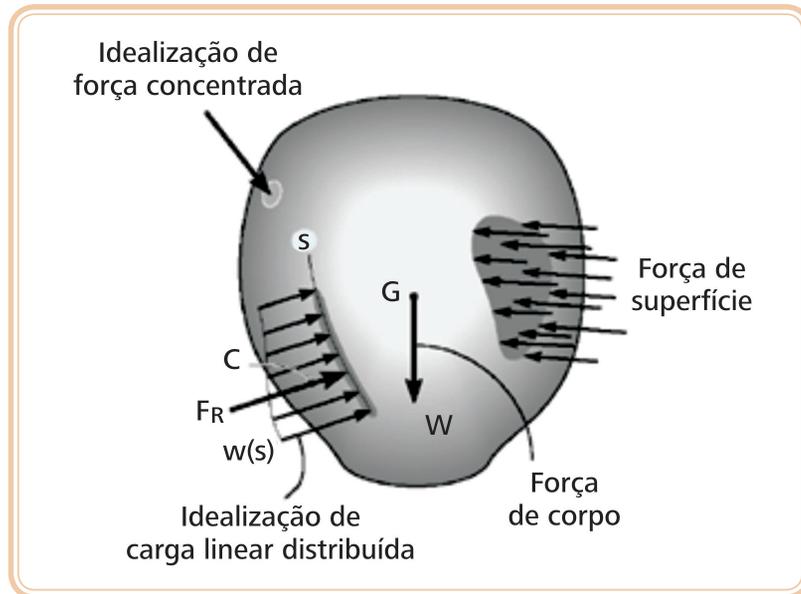


Figura 2.1: Equilíbrio de um corpo deformável

Fonte: Beer; Johnston, 1995



A resistência dos materiais é um ramo da mecânica que estuda as relações entre cargas externas aplicadas a um corpo deformável e a intensidade das forças internas que atuam dentro do corpo, com abrangência no cálculo da deformação do corpo e no estudo da estabilidade do corpo, quando ele está submetido a forças externas.

2.2 Objetivos da resistência dos materiais

A Resistência dos materiais tem como objetivos básicos, determinar os esforços internos de um corpo sólido submetido a ação dos esforços externos conhecidos (Quadro 2.1), e conseqüentemente verificar a sua estabilidade e dimensioná-los.

Quadro 2.1: Esforços externos conhecidos

Tensões internas	Produzidas pelos esforços externos. (ESTADO DE TENSÃO).
Deformações no corpo sólido	Devido ao deslocamento dos nós provocados pelas tensões. (ESTADO DE DEFORMAÇÃO).
Dimensionamento	Escolher a forma do sólido, com base nos esforços internos resistentes e/ou nas deformações ocorridas, para que não ultrapassem os limites admissíveis.
Estabilidade	Para garantir que os estados de tensão e deformação provocados pelos esforços internos resistentes não ultrapassem limites admissíveis.

Fonte: autor

2.3 Definições básicas

Quadro 2.2: Definições básicas

Viga ou barra	É todo sólido que apresenta uma das dimensões (comprimento), bem maior que qualquer outra.
Seção transversal	É a figura plana cujo movimento de translação origina uma barra.
Eixo longitudinal	É o lugar geométrico (linha) dos baricentros de todas as seções transversais da barra.
Barra prismática	É o sólido gerado pelo movimento de translação de uma figura plana, em trajetória retilínea. Caracteriza-se pelo eixo longitudinal reto, e pelas seções transversais iguais.
Estrutura	É o sistema, formado por uma ou mais barras interligadas entre si e seus apoios, destinado a suportar esforços.
Esforços	São as cargas que atuam diretamente sobre as barras de uma estrutura. Podem ser externos ou internos, ativos ou reativos.

Fonte: autor

2.4 Esforços externos ativos

São as cargas concentradas, distribuídas e momentos que agem sobre as barras (estrutura) mostradas na Figura 2.2.

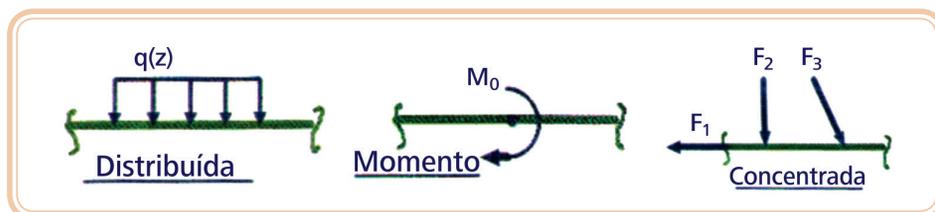


Figura 2.2: Tipos de carregamentos

Fonte: autor

2.5 Tipos de apoios ou vínculos

2.5.1 Apoio simples

Impede o movimento de translação na direção perpendicular à base do apoio. Por isso só aparece uma reação (Figura 2.3). É chamado, também, de rolete.

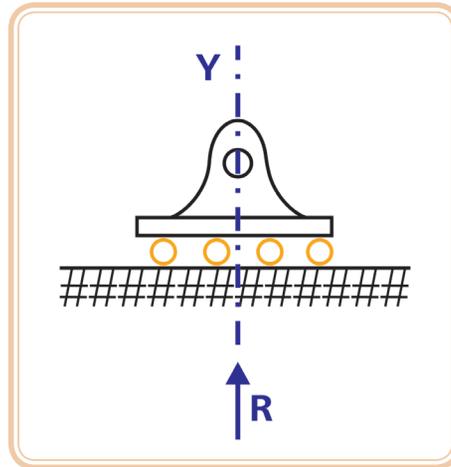


Figura 2.3: Apoio simples

Fonte: autor

2.5.2 Apoio duplo

Impede o movimento de translação na direção perpendicular e na paralela à base do apoio. Podem aparecer, por isso, até duas reações (Figura 2.4).

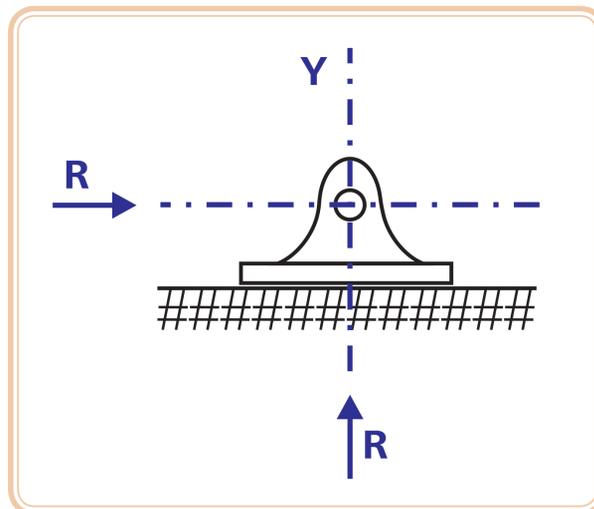


Figura 2.4: Apoio duplo

Fonte: autor

2.5.3 Engaste

Impede dois tipos de movimento, dois de translação e um de rotação. Com isso podem aparecer até três reações (Figura 2.5).

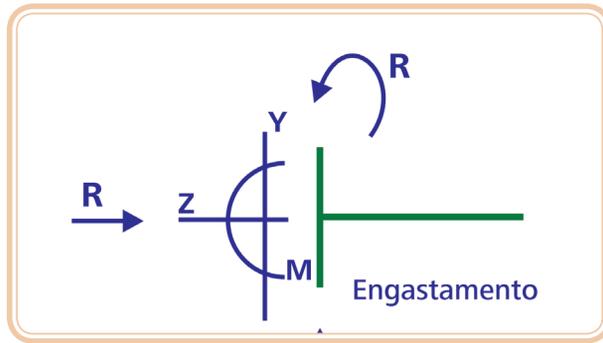


Figura 2.5: Engaste

Fonte: autor

2.6 Ações

Ações é toda influência exercida sobre um corpo capaz de produzir um estado de tensão ou modificar o estado já existente. Carregamento é o conjunto de ações que atuam simultaneamente para a determinação dos esforços solicitantes num sistema estrutural.

Os carregamentos podem ocorrer devido às:

Ações ativas – forças ou momentos aplicados na estrutura.

Ações reativas – forças ou momentos devidos às reações de apoio.



2.6.1 Classificação

As ações são classificadas em:

- **Forças.**
- **Momentos.**
- **Estáticas** – ação estática na estrutura.
- **Dinâmicas** – ação variável na estrutura.
- **Diretas** – cargas permanentes, cargas variáveis e cargas acidentais.
- **Indiretas** – deformações impostas, retração, fluência, protensão, deslocamento dos apoios.

- **Acidentais** – ação esporádica na estrutura, constituída em função do uso da estrutura.
- **Permanentes** – constituída pelo peso próprio e pelas sobrecargas dos elementos construtivos e instalações permanentes.
- **Concentradas** – ação com extensão de aplicação pequena em relação ao tamanho da estrutura (Figura 2.6).

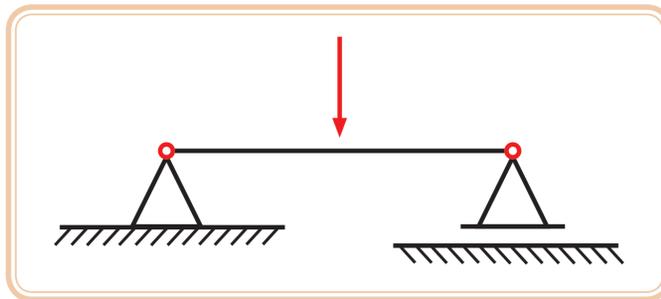


Figura 2.6: Carga concentrada

Fonte: autor

- **Distribuídas** – ação distribuída em parte da extensão da estrutura. Pode ocorrer de duas formas: uniformemente distribuída (Figura 2.7) e carga não uniformemente distribuída (Figura 2.8).

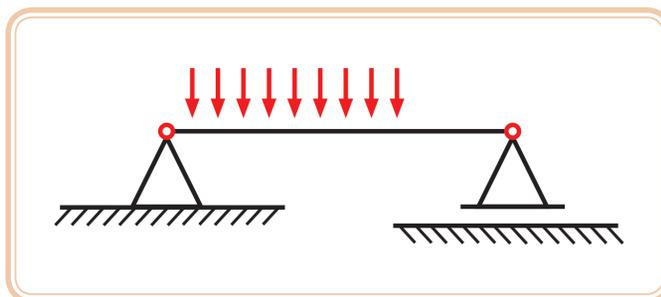


Figura 2.7: Carga uniformemente distribuída

Fonte: autor

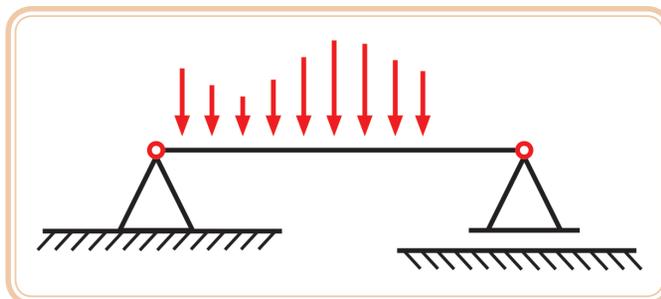


Figura 2.8: Carga não uniformemente distribuída

Fonte: autor

2.7 Reações de apoio

As reações de apoio são responsáveis pelo **vínculo** da estrutura ao solo ou a outras partes da mesma, de modo a ficar assegurada sua imobilidade, apesar dos pequenos deslocamentos devidos às deformações.

A-Z

vínculo

Aquilo que liga ou ata duas ou mais coisas; laço; liame.

Nos sistemas planos, existem três tipos de movimentos. A Figura 2.9 mostra os três movimentos em relação ao plano XY: o de translação no eixo X, o de translação no eixo Y e o de rotação no eixo Z.

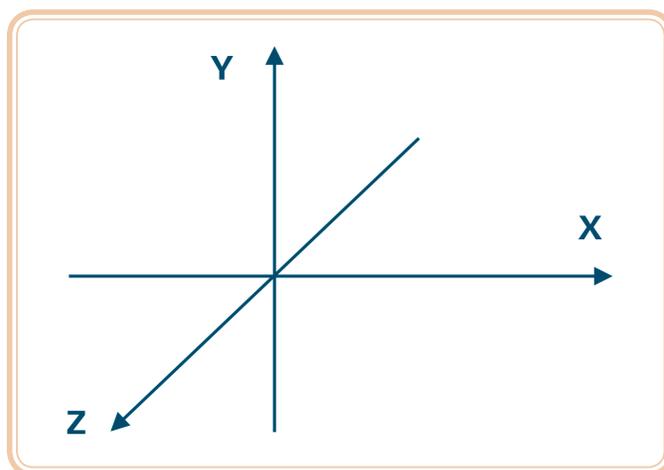


Figura 2.9: Sistema de plano (x, y e z)

Fonte: autor

2.7.1 Vínculos

Os vínculos podem ser classificados em função do número de movimentos que impedem. Portanto temos apoios com três graus de liberdade: vínculo simples, vínculo duplo e vínculo triplo.

2.7.1.1 Vínculo simples

Apoio móvel – impede apenas um movimento, normalmente o de translação, no eixo “y” (Figura 2.10).

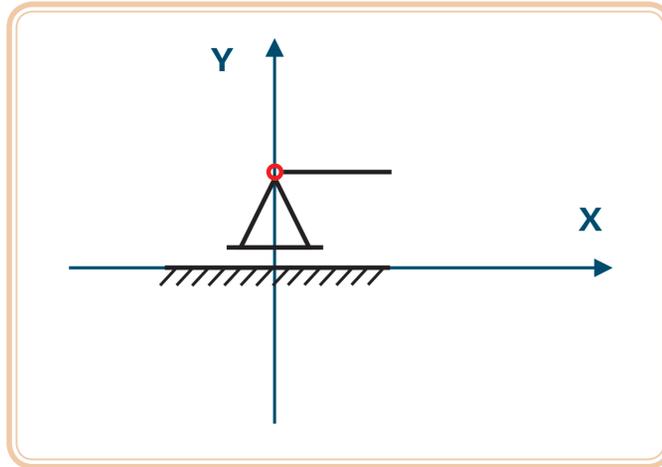


Figura 2.10: Vínculo simples

Fonte: autor

2.7.1.2 Vínculo duplo

Apoio fixo – impede dois movimentos de translações nos eixos “x” e “y”, permitindo apenas o de rotação em torno do eixo “z” (Figura 2.11).

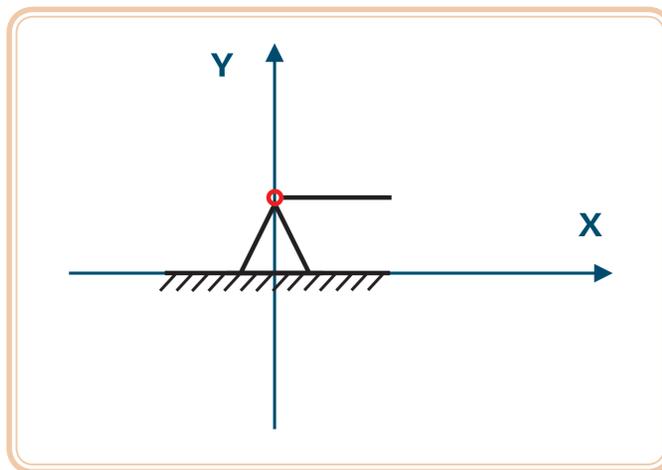


Figura 2.11: Vínculo duplo

Fonte: autor

2.7.1.3 Vínculo triplo

Engastamento – impede os três movimentos, os dois de translação nos eixos “x” e “y” e o de rotação em torno do eixo “z” (Figura 2.12).

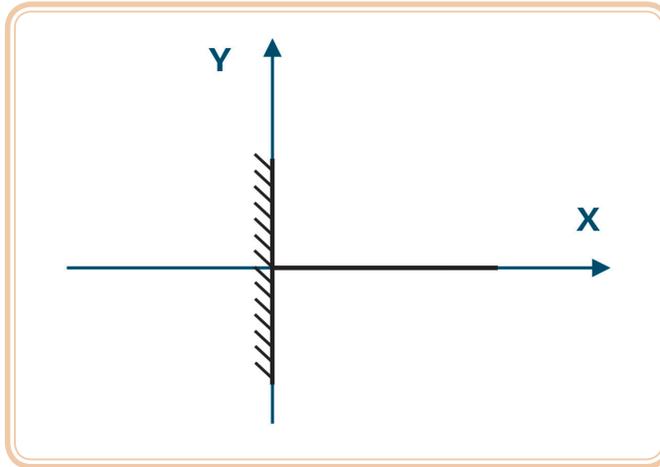


Figura 2.12: Vínculo triplo

Fonte: autor

2.7.2 Apoios e conexões

Apoios e conexões são elementos de uma estrutura onde as forças de superfície se desenvolvem.

A Figura 2.13 ilustra os tipos de apoios mais encontrados em problemas bidimensionais.

Tipo de acoplamento	Reação	Tipo de acoplamento	Reação
<p>Cabo</p>	<p>Uma incógnita: F</p>	<p>Pino externo</p>	<p>Duas incógnitas: F_x, F_y</p>
<p>Rolete</p>	<p>Uma incógnita: F</p>	<p>Pino interno</p>	<p>Duas incógnitas: F_x, F_y</p>
<p>Apoio</p>	<p>Uma incógnita: F</p>	<p>Engaste</p>	<p>Três incógnitas: F_x, F_y, M</p>

Figura 2.13: Tipos de apoios

Fonte: Beer; Johnston, 1995

2.7.2.1 Apoio do 1º gênero

É o apoio que impede o movimento na peça em apenas uma direção (vertical), movimento de translação (Figura 2.14).



Figura 2.14: Símbolo do apoio do 1º gênero

Fonte: autor

2.7.2.2 Apoio do 2º gênero

Impede o movimento de translação da peça em duas direções (Figura 2.15).

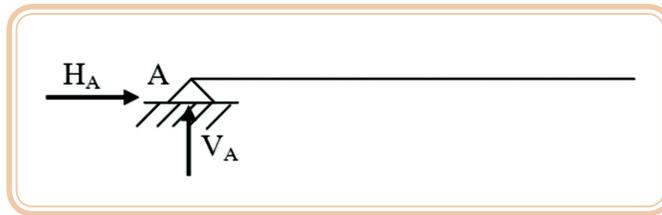


Figura 2.15: Símbolo do apoio do 2º gênero

Fonte: autor

2.7.2.3 Apoio do 3º gênero ou engastamento

Impede três movimentos: dois movimentos de translação (H_A e V_A) e um movimento de rotação da peça (M_A), conforme Figura 2.16.

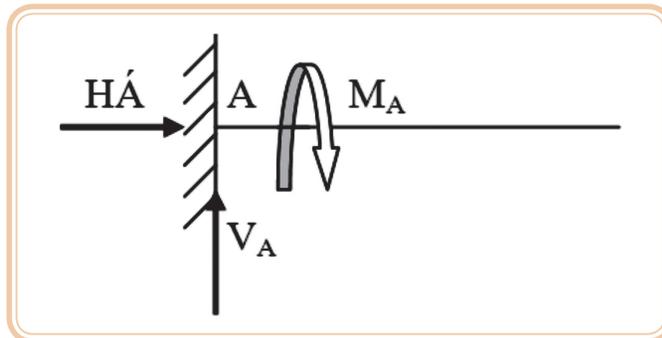


Figura 2.16: Símbolo do apoio do 3º gênero

Fonte: autor



Assista ao vídeo "Esforços em vigas", que traz uma explicação simples sobre como calcular reações provenientes de carregamentos em vigas. Acesse: <http://www.youtube.com/watch?v=jrivGRgW28Q&feature=related>

Resumo

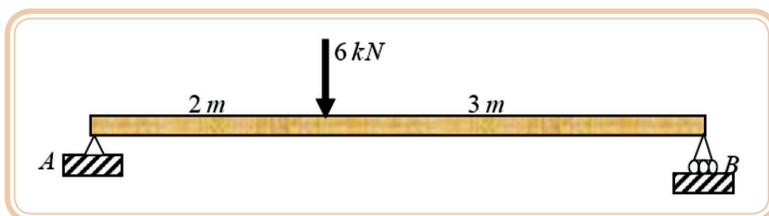
As condições necessárias e suficientes para o equilíbrio de um corpo rígido, estando ele apoiado ou suspenso serão: $\Sigma F = 0$ (soma de todas as forças que atuam sobre o corpo); $\Sigma M = 0$ (soma dos momentos de todas as forças em relação a um ponto qualquer). Os carregamentos podem ocorrer devido: às ações ativas – forças ou momentos aplicados na estrutura, às ações reativas – forças ou momentos devido às reações de apoio. As reações de apoio são responsáveis pelo vínculo da estrutura ao solo ou a outras partes da mesma, de

modo a ficar assegurada sua imobilidade, apesar dos pequenos deslocamentos devidos às deformações. Os vínculos podem ser classificados em função do número de movimentos que impedem. Portanto, temos apoios com três graus de liberdade: vínculo simples, vínculo duplo e vínculo triplo.

Atividades de aprendizagem

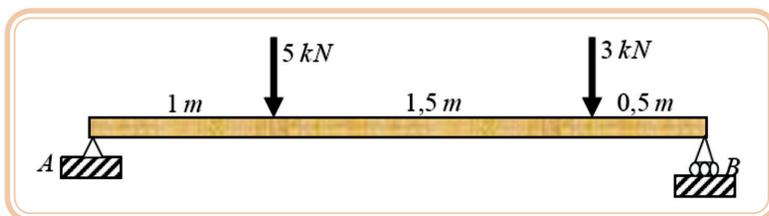


1. Para as vigas simplesmente apoiadas representadas nas figuras a seguir, determine as reações R_{VA} e R_{VB} nos apoios, de modo a respeitar as condições de equilíbrio da estática.



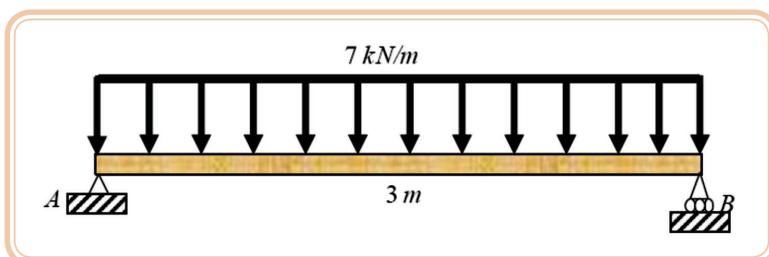
Exercício 1.1: Viga simplesmente apoiada 1

Fonte: autor



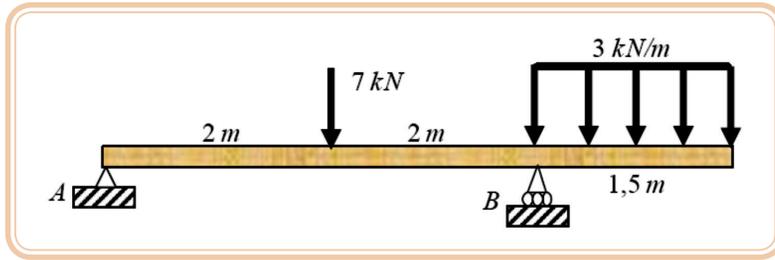
Exercício 1.2: Viga simplesmente apoiada 2

Fonte: autor



Exercício 1.3: Viga simplesmente apoiada 3

Fonte: autor



Exercício 1.4: Viga simplesmente apoiada 4

Fonte: autor

Aula 3 – Tração e compressão

Objetivos

Compreender o comportamento de materiais sólidos submetidos a solicitações mecânicas de tração e compressão.

Identificar as formas de combate às solicitações em peças estruturais através da tensão normal, Lei de Hooke, estudo de treliças isostáticas.

Analisar o estudo de tração no aço, diagrama: tensão x deformação, tipos de carregamento, vigas isostáticas, diagrama de esforço cortante e momento fletor, tensão na flexão, cisalhamento na flexão.

3.1 Materiais sólidos x solicitações

Materiais sólidos tendem a deformar-se (ou eventualmente se romper) quando submetidos a solicitações mecânicas. A resistência dos materiais é um ramo da engenharia que tem como objetivo o estudo do comportamento de elementos construtivos sujeitos a esforços, de forma que eles possam ser adequadamente dimensionados para suportá-los nas condições previstas de utilização.

3.2 Solicitação

Solicitação é todo esforço ou conjunto de esforços exercidos pelas ações sobre uma ou mais seções de um elemento da estrutura. As solicitações provocam na estrutura tensões que podem ser:

- **Tensões normais** – podendo ser de tração ou de compressão.
- **Tensões de cisalhamento.**

3.3 Tensão

É a grandeza física definida pela relação entre a força atuante em uma superfície e a área dessa superfície, ou seja, tensão é igual à força dividida pela área.

$$\text{Tensão} = \frac{\text{Força}}{\text{Área}}$$

3.3.1 Classificação

3.3.1.1 Tensão normal

A-Z

perpendicular

Que forma um ângulo reto com outra linha ou plano.

É ocasionada pela ação da força normal (N) que representa a soma algébrica de todas as forças contidas no plano YX, portanto, **perpendicular** à seção transversal, produzindo no plano YZ tensões normais. Consideramos a força normal como tração (+) (Figura 3.1), se esta é dirigida para fora do corpo ou compressão (-) (Figura 3.2), se esta é dirigida para dentro do corpo.

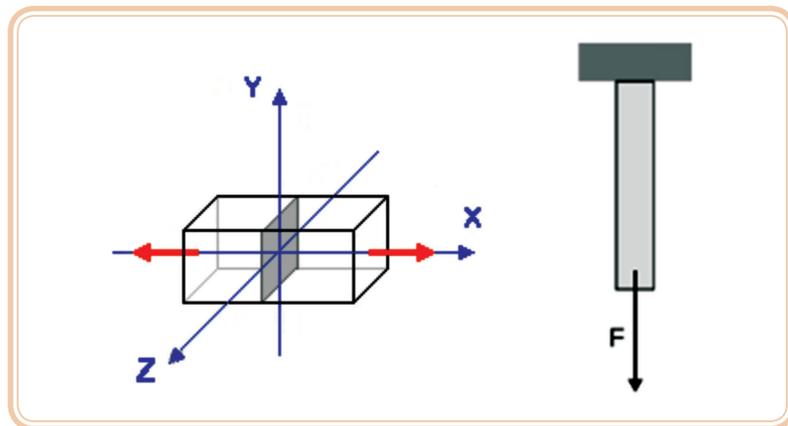


Figura 3.1: Tração

Fonte: autor

- **Tração** – caracteriza-se pela tendência de alongamento do elemento na direção da força atuante.

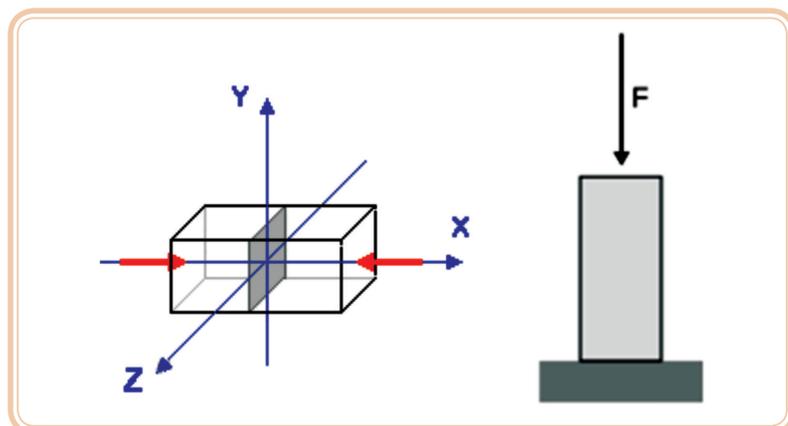


Figura 3.2: Compressão

Fonte: autor

- **Compressão** – a tendência é uma redução do elemento na direção da força atuante.

3.3.1.2 Tensão de cisalhamento ou de corte

É ocasionada pela ação da força cortante (V) que representa a soma algébrica de todas as forças contidas no plano YZ , perpendicular ao eixo da peça, produzindo esforço que tende a deslizar uma seção em relação à outra, provocando tensões de cisalhamento (Figura 3.3).

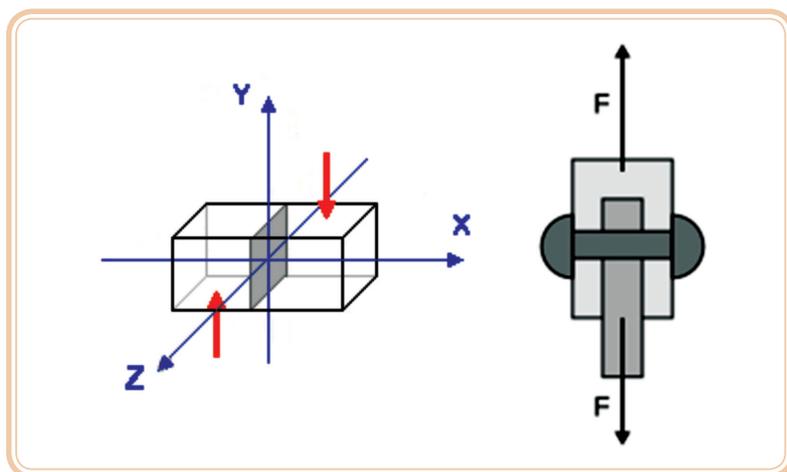


Figura 3.3: Cisalhamento ou corte

Fonte: autor

3.4 Treliças isostáticas

3.4.1 Definição

Treliça é toda estrutura constituída de barras ligadas entre si nas extremidades. O ponto de encontro das barras é chamado nó da treliça. Os esforços externos são aplicados unicamente nos nós. Denomina-se treliça plana, quando todas as barras de uma treliça estão em um mesmo plano.

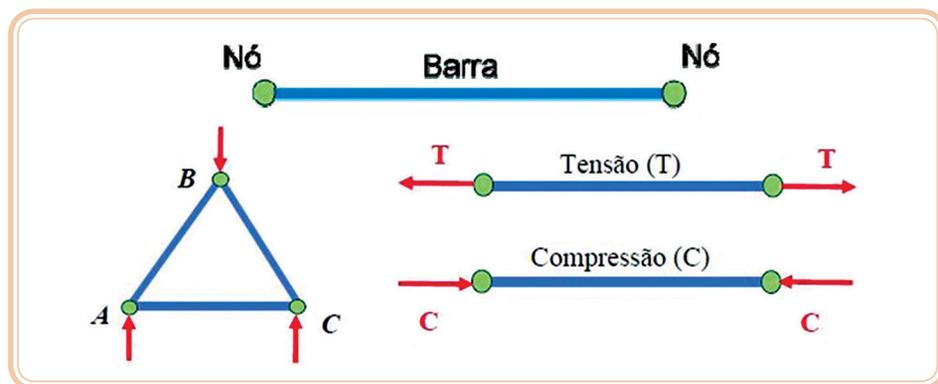


Figura 3.4: Desenho genérico de uma treliça plana

Fonte: Mesquita, 2009

Para se calcular uma treliça deve-se:

- a) Determinar as reações de apoio.
- b) Determinar as forças nas barras.

A condição para que uma treliça de malhas triangulares seja isostática é:

Equação 3.2

$$2n = b + v$$

Onde: b = número de barras

n = número de nós

v = número de reações de apoio

Adotam-se como convenção de sinais:

- Barras tracionadas – positivo (+)

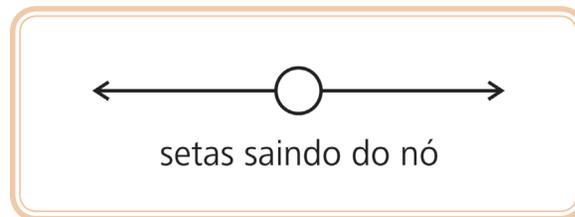


Figura 3.5: Barra tracionada

Fonte: CTISM, adaptado do autor

- Barras comprimidas – negativo (-)

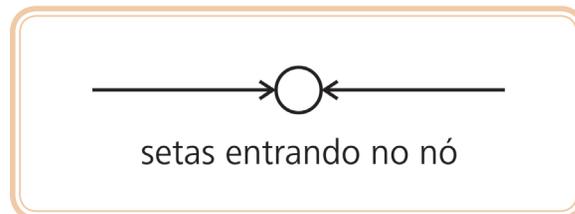


Figura 3.6: Barra comprimida

Fonte: CTISM, adaptado do autor



Os esforços nas barras das treliças podem ser resolvidos por métodos gráficos e analíticos.

Um dos vários processos analíticos usuais é o método do equilíbrio dos nós, exemplificado a seguir.

3.4.2 Método do equilíbrio dos nós

Inicialmente devem-se identificar os nós e verificar os tipos de reações de apoio.

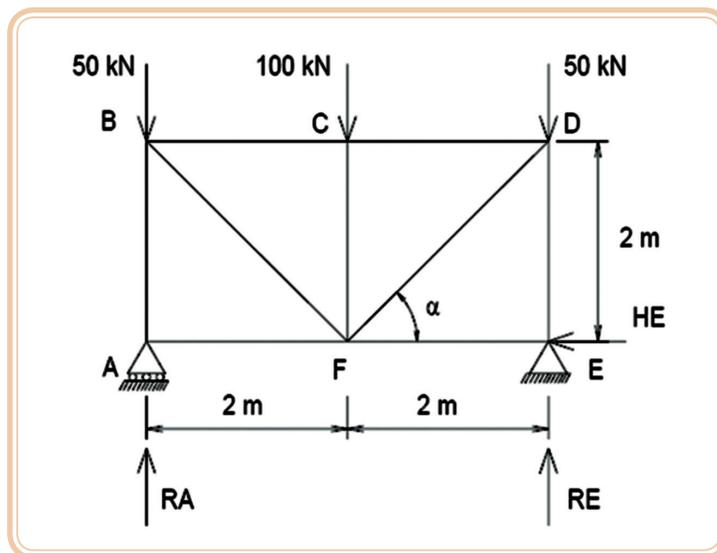


Figura 3.7: Treliça isostática

Fonte: Trautwein, 2005

No caso da treliça da Figura 3.7, no nó A tem-se um apoio móvel e no nó E, um apoio fixo.

Como os apoios móveis restringem somente deslocamentos, nos perpendiculares ao plano do apoio, tem-se uma reação vertical RA.

Como os apoios fixos restringem deslocamentos paralelos e perpendiculares ao plano do apoio, têm-se uma reação vertical RE e uma reação horizontal HE.

Verificação se a treliça é uma estrutura isostática:

Barras ($b=9$)	Nós ($n=6$)	Reações ($v=3$)
	$2n=b+v$	
	$2 \times 6=9+3$	
Conclusão: a treliça é uma estrutura isostática		

a) Cálculo do ângulo de inclinação das barras

$$\alpha = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}} = \frac{2}{2} = 45^\circ$$

b) Cálculo das reações de apoio

- Equação de equilíbrio das forças na horizontal:

$$\Sigma F_H = 0$$

Conclusão: $H_E = 0$

- Equação de equilíbrio das forças na vertical:

$$\Sigma F_V = 0$$
$$R_A + R_E - 50 - 100 - 50 = 0$$
$$R_A + R_E = 200 \text{ kN}$$

- Equação de equilíbrio de momentos:

Como a estrutura está em equilíbrio, a somatória dos momentos em relação a qualquer ponto da estrutura deve ser nula. Tomando-se, por exemplo, o nó A como referência, tem-se:

$$\Sigma M_A = 0$$
$$4 \times R_E - 50 \times 4 - 100 \times 2 = 0$$
$$R_E = \frac{400}{4}$$
$$R_E = 100 \text{ kN}$$

Substituindo o valor de R_E na equação de equilíbrio das forças na vertical, tem-se:

$$R_A + R_E = 200 \text{ kN}$$
$$R_A + 100 = 200 \text{ kN}$$

Conclusão: $R_A = 100 \text{ kN}$

c) Cálculo das forças nas barras

Iniciar a resolução pelo nó que tiver no máximo duas forças incógnitas. As forças devem estar tracionando o nó (seta que sai). Como não se sabe a priori se as forças nas barras são de tração ou de compressão, considera-se que elas sejam tracionadas. Se o valor determinado for negativo, significa que a barra está comprimida, portanto o sentido da seta deve ser mudado.

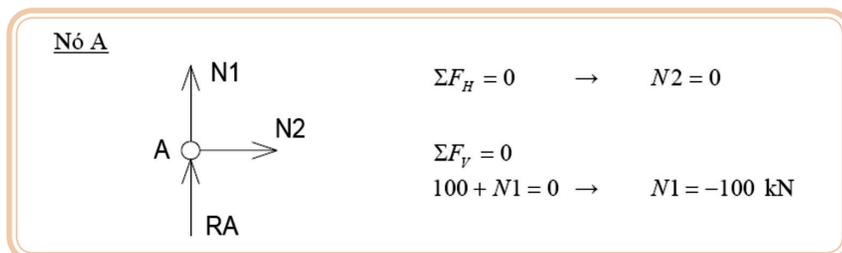


Figura 3.8: Nó A

Fonte: autor

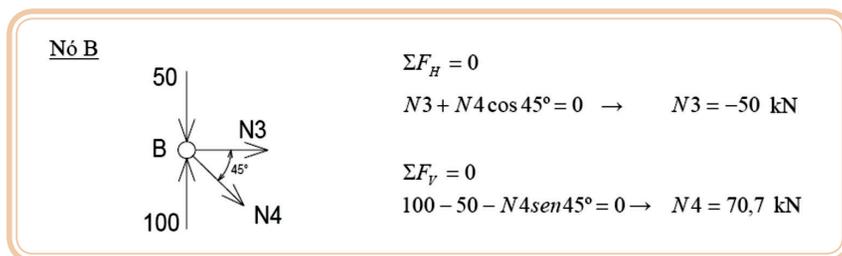


Figura 3.9: Nó B

Fonte: autor

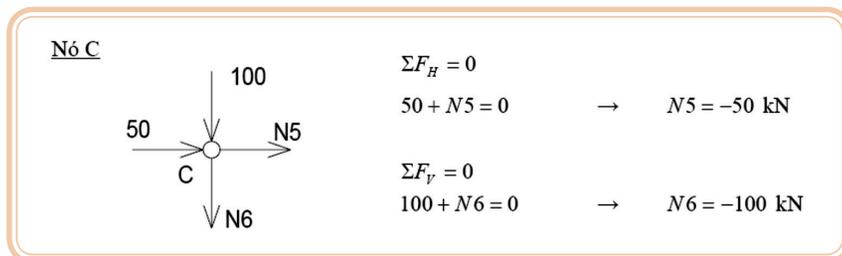


Figura 3.10: Nó C

Fonte: autor

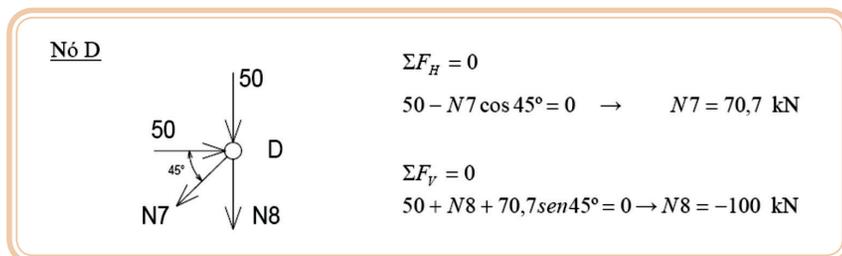


Figura 3.11: Nó D

Fonte: autor

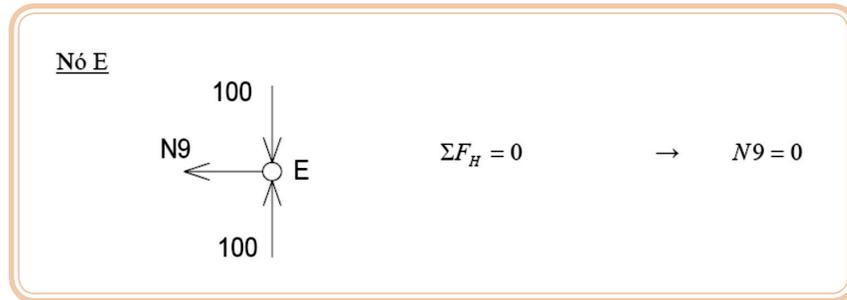


Figura 3.12: Nó E

Fonte: autor

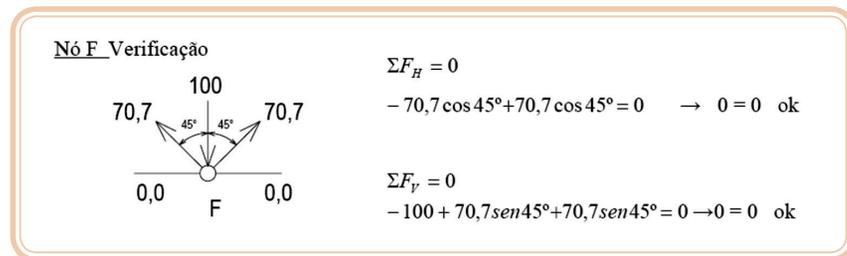


Figura 3.13: Nó F – Verificação

Fonte: autor

Como a treliça é simétrica, com carregamentos simétricos, os resultados das forças que agem nos nós D e E são iguais aos dos nós B e A, respectivamente. Portanto, não há necessidade de se calcularem as forças nos nós D e E.

Quadro 3.1: Resultados da Figura 3.7

$N_{AB} = -100 \text{ kN}$	Compressão
$N_{AF} = 0 \text{ kN}$	
$N_{BC} = -50 \text{ kN}$	Compressão
$N_{BF} = +70,7 \text{ kN}$	Tração
$N_{CF} = -100 \text{ kN}$	Compressão
$N_{CD} = -50 \text{ kN}$	Compressão
$N_{DF} = +70,7 \text{ kN}$	Tração
$N_{DE} = -100 \text{ kN}$	Compressão
$N_{FE} = 0 \text{ kN}$	

Fonte: Trautwein, 2005

3.5 Estudo de tração no aço

3.5.1 Tensões e deformações

Os conceitos de **tensão** e **deformação** podem ser ilustrados, de modo elementar, considerando-se o alongamento de uma barra prismática (barra de eixo reto e de seção constante em todo o comprimento) conforme Figura 3.14. Considera-se uma barra prismática carregada nas extremidades por forças axiais

P (forças que atuam no eixo da barra) que produzem alongamento uniforme ou tração na barra. Sob ação dessas forças originam-se esforços internos no interior da barra. Para o estudo desses esforços internos, considere-se um corte imaginário na seção m-m, normal a seu eixo. Removendo-se, por exemplo, a parte direita do corpo, os esforços internos na seção considerada (m-m) transformam-se em esforços externos. Supõe-se que estes esforços estejam distribuídos uniformemente sobre toda a seção transversal.

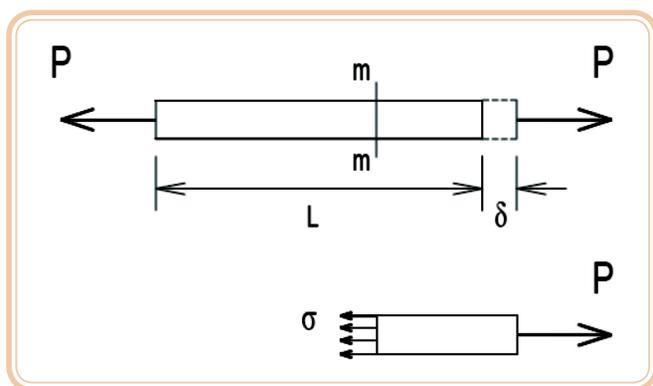


Figura 3.14: Esforços em uma seção transversal

Fonte: Beer; Johnston, 1995

Para que não se altere o equilíbrio, esses esforços devem ser equivalentes à resultante também axial de intensidade P. Quando essas forças são distribuídas perpendicular e uniformemente sobre toda a seção transversal, recebem o nome de tensão normal, sendo comumente designada pela letra grega σ (sigma). Pode-se ver facilmente que a tensão normal, em qualquer parte da seção transversal é obtida dividindo-se o valor da força P pela área da seção transversal, ou seja:

Equação 3.3

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

A tensão tem a mesma unidade de pressão, que, no Sistema Internacional de Unidades é o Pascal (Pa) correspondente à carga de 1 N atuando sobre uma superfície de 1 m², ou seja, Pa = N/m². Como a unidade Pascal é muito pequena, costuma-se utilizar com frequência seus múltiplos: MPa = N/mm² = (Pa × 10⁶), GPa = kN/mm² = (Pa × 10⁹), etc. Em outros sistemas de unidades, a tensão ainda pode ser expressa em quilograma força por centímetro quadrado (kgf/cm²), libra por polegada quadrada (lb/in² ou psi), etc. Quando a barra é alongada pela força P, como indica a Figura 3.14, a tensão resultante é uma tensão de tração; se as forças tiverem o sentido oposto, comprimindo a barra, tem-se tensão de compressão.

A condição necessária para validar a Equação 3.3 é que a tensão σ seja uniforme em toda a seção transversal da barra. O alongamento total de uma barra submetida a uma força axial é designado pela letra grega δ (delta). O alongamento por unidade de comprimento denominado deformação específica, representado pela letra grega ε (épsilon) é dado pela Equação 3.4:



Nota-se que a deformação ε é uma quantidade adimensional. É de uso corrente no meio técnico representar a deformação por uma fração percentual (%) multiplicando-se o valor da deformação específica por 10^2 ou mesmo até multiplicando-se por 10^3 .

Equação 3.4

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Onde: ε = deformação específica
 δ = alongamento ou encurtamento
 L = comprimento total da barra

3.5.2 Diagrama tensão-deformação

As relações entre tensões e deformações para um determinado material são encontradas por meio de ensaios de tração. Nesses ensaios são medidos os alongamentos δ , correspondentes aos acréscimos de carga axial P , que se aplicam à barra, até a ruptura do corpo-de-prova.

Obtêm-se as tensões dividindo as forças pela área da seção transversal do escoamento e do material da barra e as deformações específicas, dividindo o alongamento pelo comprimento ao longo do qual a deformação é medida. Desse modo obtém-se um diagrama tensão-deformação do material em estudo. Na Figura 3.15 ilustra-se um diagrama tensão-deformação típico do aço.

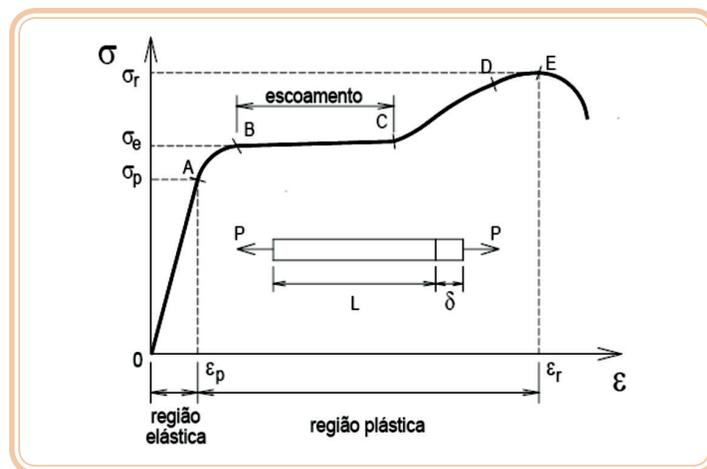


Figura 3.15: Diagrama tensão-deformação

Fonte: Nash, 1990

Onde: σ_r = tensão de ruptura
 σ_e = tensão de escoamento
 σ_p = tensão limite de proporcionalidade

Região elástica – de 0 até A as tensões são diretamente proporcionais às deformações; o material obedece à Lei de Hooke e o diagrama é linear. O ponto A é chamado limite de proporcionalidade, pois a partir desse ponto deixa de existir a proporcionalidade. Daí em diante inicia-se uma curva que se afasta da reta A, até que em B começa o chamado escoamento.

O escoamento caracteriza-se por um aumento considerável da deformação com pequeno aumento da força de tração. No ponto A inicia-se a região plástica.

O ponto C é o final do escoamento. O material começa a oferecer resistência adicional ao aumento de carga, atingindo o valor máximo ou tensão máxima no ponto D denominado limite máximo de resistência. Além desse ponto, maiores deformações são acompanhadas por reduções da carga, ocorrendo, finalmente, a ruptura do corpo-de-prova no ponto E do diagrama.

A presença de um ponto de escoamento pronunciado seguido de grande deformação plástica é uma característica do aço, que é o mais comum dos metais estruturais em uso atualmente. Tanto os aços quanto as ligas de alumínio podem sofrer grandes deformações antes da ruptura.

Materiais que apresentam grandes deformações antes da ruptura são classificados de materiais dúcteis. Outros materiais como o cobre, bronze, latão, níquel, etc., também possuem comportamento dúctil. Por outro lado, os materiais frágeis ou quebradiços são aqueles que se deformam pouco antes de se romperem como, por exemplo, o ferro fundido, concreto, vidro, porcelana, cerâmica, gesso, entre outros.



3.5.3 Tensão admissível

Para certificar-se de que a estrutura projetada não corra risco de ruína, levando em conta algumas sobrecargas extras, bem como certas imprecisões na construção e possíveis desconhecimentos de algumas variáveis na análise da estrutura, normalmente se emprega um coeficiente de segurança (γ_f), majorando-se a carga calculada. Outra forma de aplicação do coeficiente de segurança é utilizar uma tensão admissível (σ ou σ_{adm}), reduzindo a tensão calculada (σ_{calc}), dividindo-a por um coeficiente de segurança. A tensão admissível é normalmente mantida abaixo do limite de proporcionalidade, ou seja, na região de deformação elástica do material.

3.5.4 Lei de Hooke

Os diagramas tensão-deformação ilustram o comportamento de vários materiais, quando carregados por tração. Quando um corpo-de-prova do material é descarregado, isto é, quando a carga é gradualmente diminuída até zero, a deformação sofrida durante o carregamento desaparecerá parcial ou completamente. Esta propriedade do material, pela qual ele tende a retornar à forma original é denominada elasticidade. Quando a barra volta completamente à forma original, diz-se que o material é perfeitamente elástico; mas se o retorno não for total, o material é parcialmente elástico. Neste último caso, a deformação que permanece depois da retirada da carga é denominada deformação permanente.

A relação linear da função tensão-deformação (Figura 3.16) foi apresentada por Robert Hooke em 1678 e é conhecida por Lei de Hooke, definida como:

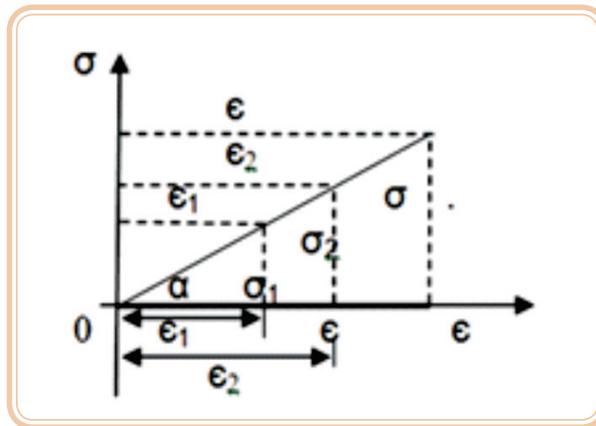


Figura 3.16: Diagrama tensão-deformação

Fonte: Nash, 1990

$$\frac{\sigma_1}{\epsilon_1} = \frac{\sigma_2}{\epsilon_2} = \frac{\sigma_3}{\epsilon_3} = \dots = \frac{\sigma}{\epsilon} = \text{Constante} = E$$

$$\frac{\sigma}{\epsilon} = E$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$\sigma = E \times \epsilon$$

$$\text{tg } \alpha = E$$

Lei de Hooke

$$E_{\text{aço}} = 2,1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$$

Onde: σ = tensão normal (kgf/cm² ou Mpa), T (tração) ou C (compressão)

ϵ = deformação unitária (adimensional)

E = módulo de elasticidade do material ou módulo de young (kgf/cm² ou MPa)

O módulo de elasticidade representa o coeficiente angular da parte linear do diagrama tensão-deformação e é diferente para cada material.

A Lei de Hooke é válida para a fase elástica dos materiais. Por esse motivo, quaisquer que sejam os carregamentos ou solicitações sobre o material, vale a superposição de efeitos, ou seja, pode-se avaliar o efeito de cada solicitação sobre o material e depois somá-los. Alguns valores de E são mostrados na Tabela 3.1. Para a maioria dos materiais, o valor do módulo de elasticidade sob compressão ou sob tração são iguais.



Tabela 3.1: Propriedades mecânicas típicas de alguns materiais

Material	Peso específico (kN/m ³)	Módulo de elasticidade (GPa)
Aço	78,5	200 a 210
Alumínio	26,9	70 a 80
Bronze	83,2	98
Cobre	88,8	120
Ferro fundido	77,7	100
Madeira	0,6 a 1,2	8 a 12
Concreto simples	24,0	25,5

Fonte: autor

Quando a barra é carregada por tração simples, a tensão axial é $\sigma = P/A$ e a deformação específica é $\varepsilon = \delta/L$. Combinando esses resultados com a Lei de Hooke, tem-se a seguinte expressão para o alongamento da barra:

Equação 3.5

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

A Equação 3.5 mostra que o alongamento de uma barra linearmente elástica é diretamente proporcional à carga e ao comprimento e inversamente proporcional ao módulo de elasticidade e à área da seção transversal. O produto EA é conhecido como rigidez axial da barra.



3.5.5 Coeficiente de Poisson

Quando uma barra é tracionada, o alongamento axial é acompanhado por uma contração lateral, isto é, a largura da barra torna-se menor enquanto cresce seu comprimento. Quando a barra é comprimida, a largura da barra aumenta. A Figura 3.17 ilustra essas deformações.

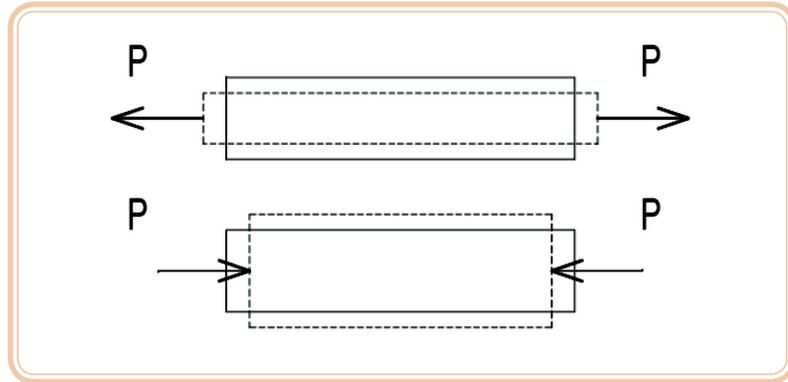


Figura 3.17: Deformações longitudinais e laterais nas barras

Fonte: Nash, 1990

A relação entre as deformações transversal e longitudinal é constante dentro da região elástica e é conhecida como relação ou coeficiente de Poisson (ν) definido como:



Equação 3.6

$$\nu = \frac{\text{deformação lateral}}{\text{deformação longitudinal}}$$

Esse coeficiente é assim conhecido em razão do famoso matemático francês S. D. Poisson (1781-1840). Para os materiais que possuem as mesmas propriedades elásticas em todas as direções, denominados isotrópicos, Poisson achou $\nu \approx 0,25$. Experiências com metais mostram que o valor de ν usualmente se encontra entre 0,25 e 0,35.
 $\nu - 0$ a 0,50

Constante – regime elástico:
0,25 a 0,35.

Variado – regime plástico:
0,35 a 0,5.

Exemplos

- a) Determinar a tensão de tração e a deformação específica de uma barra prismática de comprimento $L = 5,0$ m, seção transversal circular com diâmetro $\varnothing = 5$ cm e módulo de elasticidade $E = 20.000$ kN/cm², submetida a uma força axial de tração $P = 30$ kN, conforme Figura 3.18.

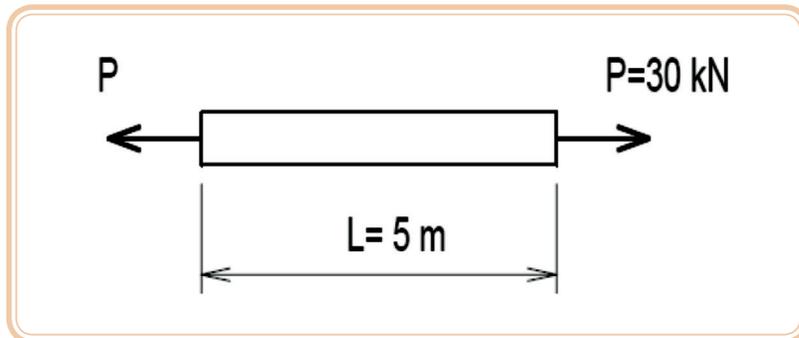


Figura 3.18: Barra prismática

Fonte: autor

$$A = \frac{\pi \times \varnothing^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 5^2}{4} = 19,6 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{30}{19,6} = 1,53 \text{ kN/cm}^2 \text{ ou } 15,3 \text{ MPa}$$

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

$$\delta = \frac{30 \times 500}{20.000 \times 19,6} = 0,0382 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

$$\varepsilon = \frac{0,0382}{500} = 0,0000764 \text{ ou } \times 1000 = 0,0764 (\text{‰})$$

- b) A barra da Figura 3.19 é constituída de 3 trechos: trecho AB = 300 cm e seção transversal com área A = 10 cm²; trecho BC = 200 cm e seção transversal com área A = 15 cm² e trecho CD = 200 cm e seção transversal com área A = 18 cm²; é solicitada pelo sistema de forças indicado na Figura 3.19. Determinar as tensões e as deformações em cada trecho, bem como o alongamento total. Dado E = 21.000 kN/cm².

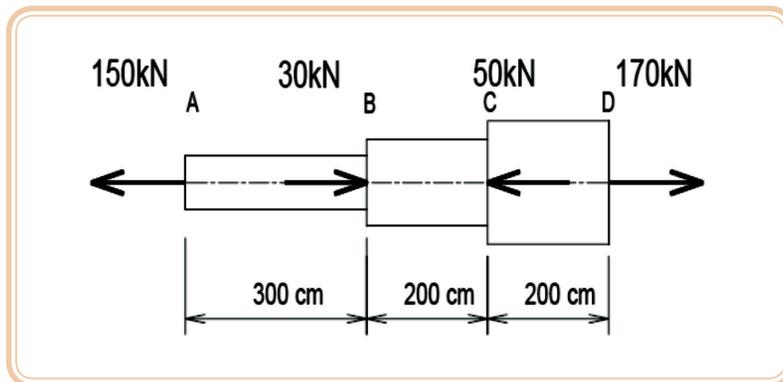


Figura 3.19: Barra prismática

Fonte: autor

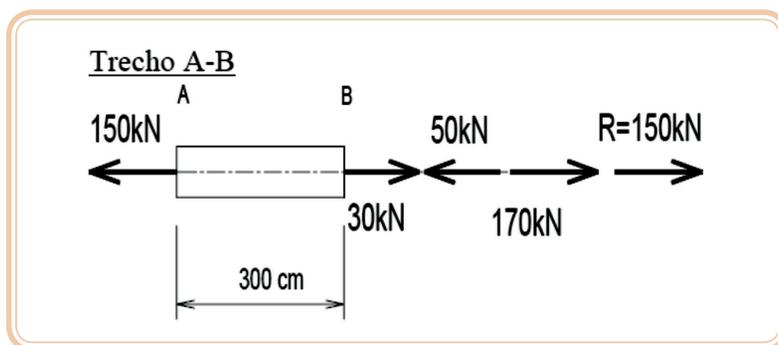


Figura 3.20: Barra prismática – trecho AB

Fonte: autor

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \sigma = \frac{150}{10} = 15 \text{ kN/cm}^2$$

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A} \quad \delta = \frac{150 \times 300}{21.000 \times 10} = 0,214 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad \varepsilon = \frac{0,214}{300} \times 1000 = 0,713 (\%)$$

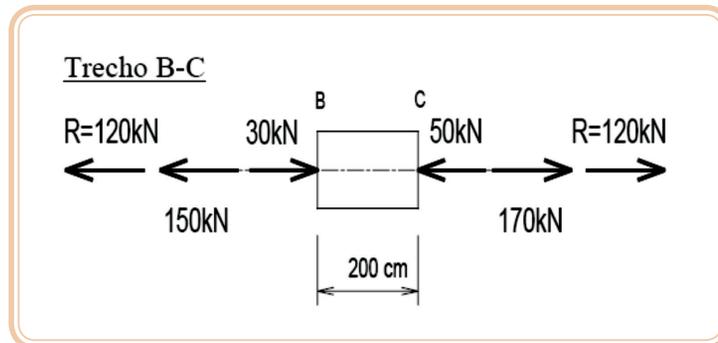


Figura 3.21: Barra prismática – trecho BC

Fonte: autor

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \sigma = \frac{120}{15} = 8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A} \quad \delta = \frac{120 \times 200}{21.000 \times 15} = 0,076 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad \varepsilon = \frac{0,076}{200} \times 1000 = 0,38 (\%)$$

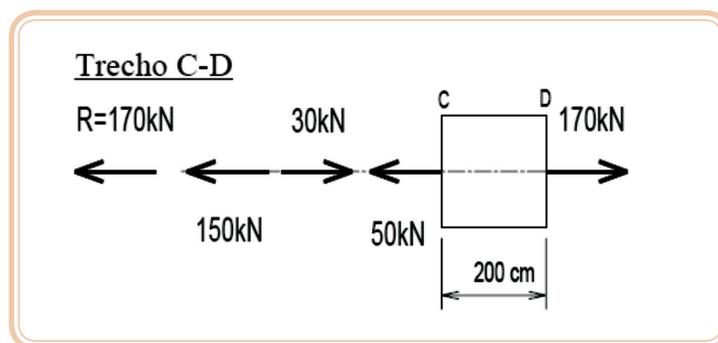


Figura 3.22: Barra prismática – trecho CD

Fonte: autor

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \sigma = \frac{170}{18} = 9,44 \text{ kN/cm}^2$$

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A} \quad \delta = \frac{170 \times 200}{21.000 \times 18} = 0,0899 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad \varepsilon = \frac{0,0899}{200} \times 1000 = 0,45 \text{ (‰)}$$

Alongamento total

$$\delta = 0,214 + 0,076 + 0,0899 = 0,38 \text{ cm}$$

3.5.6 Tensões térmicas

As maiorias das substâncias dilatam-se quando se eleva a temperatura e contraem-se quando ela diminui, sendo as dilatações e as contrações proporcionais ao incremento térmico num amplo campo de temperaturas (Figura 3.23). Esta proporcionalidade é representada pelo coeficiente linear de dilatação térmica, o qual é definido como o aumento que experimenta uma unidade de comprimento, quando a temperatura varia um grau. (ANDRADE, 2010).

Se num corpo determinado é permitida a expansão ou contração sem limitações, ao variar a temperatura, não se originará tensão alguma.

Mas quando a elevação da temperatura num corpo homogêneo não é uniforme, as distintas regiões do material não se dilatam igualmente, dando lugar às tensões térmicas. E se a variação térmica num corpo homogêneo é uniforme e existem limitações externas à dilatação, também serão originadas tensões térmicas. (ANDRADE, 2010).

Aumento da temperatura → Alongamento (tração)

Diminuição de temperatura → Encurtamento (compressão)

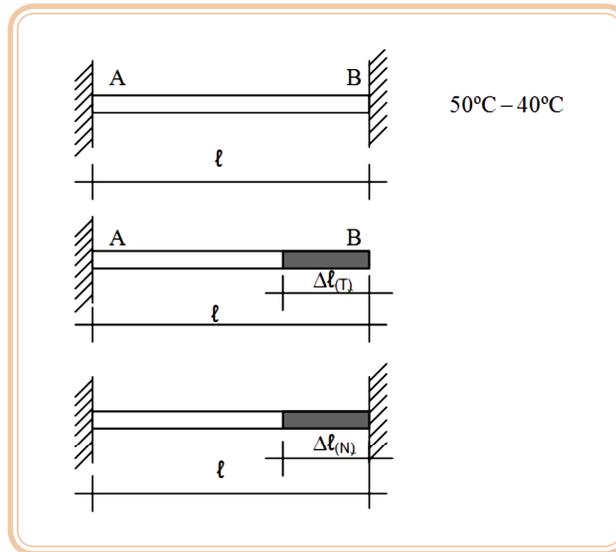


Figura 3.23: Tensões térmicas

Fonte: autor

Equação 3.7

$$\Delta l_{(T)} = l \times \alpha \times \Delta T$$

Equação 3.8

$$\Delta l_{(T)} = \frac{N \times l}{E \times S}$$

Igualando as Equações 3.7 e 3.8, temos:

$$l \times \alpha \times \Delta T = \frac{N \times l}{E \times S}$$

$$\alpha \times \Delta T = \frac{N}{E \times S}; \quad \sigma = \frac{N}{S}$$

Equação 3.9

$$\sigma_{(térmica)} = E \times \alpha \times \Delta T$$

Onde: σ = tensão térmica

E = módulo de elasticidade

α = coeficiente de dilatação térmica

ΔT = variação de temperatura (°C)

Tabela 3.2: Valores típicos do coeficiente de dilatação térmica

Material	Coeficiente de dilatação térmica α ($10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)
Aço	11,7
Alumínio	21,4 a 23,9
Magnésio	26,1
Cobre	16,7
Concreto	7,2 a 12,6

Fonte: autor

Exemplo

Uma barra prismática (Figura 3.24) rigidamente presa nas extremidades é submetida a um aumento de temperatura de 20°C , ao mesmo tempo em que recebe uma carga $P = 30 \text{ kN}$. Determinar as reações de apoio. Dados: $A = 1,5 \text{ cm}^2$; $E = 20.000 \text{ kN/cm}^2$; $\alpha = 11,7 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; $\Delta T = +20^\circ\text{C}$

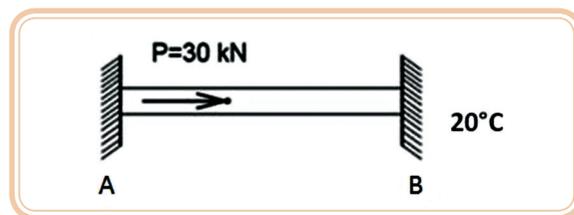


Figura 3.24: Tensões térmicas

Fonte: autor

Solução

a) Determinação das reações R'_A e R'_B , devido ao aumento de temperatura.

$$\sigma = \frac{R}{A} = E \times \alpha \times \Delta T \rightarrow R = E \times A \times \alpha \times \Delta T$$

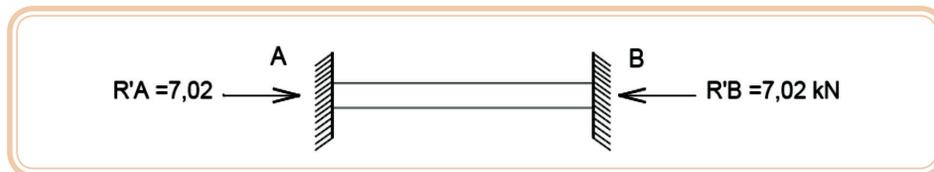


Figura 3.25: Tensões térmicas – solução

Fonte: autor

$$R = 20.000 \times 1,5 \times 11,7 \times 10^{-6} \times 20 = 7,02 \text{ kN} \rightarrow R = R'_A = R'_B$$

b) Ao se aplicar a carga $P = 30 \text{ kN}$ no ponto C, o trecho AC sofrerá um alongamento exatamente igual ao encurtamento no trecho CB, portanto $\delta_{AC} = \delta_{BC}$. Assim,

$$\frac{R_A'' \times 100}{E \times A} = \frac{R_B'' \times 250}{E \times A} \rightarrow R_A'' = 2,5 R_B''$$

Fazendo o equilíbrio de forças, tem-se:

$$R_B'' + R_A'' = P \quad \text{mas} \quad R_A'' = 2,5 R_B''$$

Logo:

$$2,5 R_B'' + R_B'' = 30 \rightarrow 3,5 R_B'' = 30 \rightarrow R_B'' = 8,57 \text{ kN}$$

Portanto:

$$R_A'' = 21,43 \text{ kN}$$

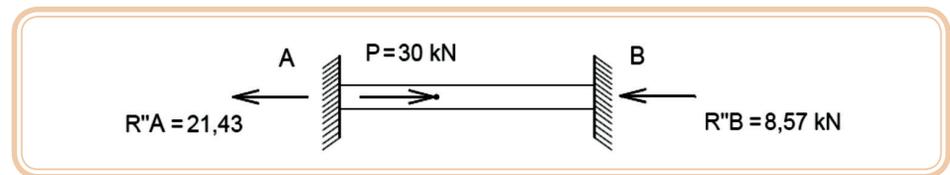


Figura 3.26: Tensões térmicas – solução

Fonte: autor

Como se trata de uma estrutura trabalhando no regime elástico, vale a superposição de efeitos, ou seja, os efeitos da temperatura na barra e da carga P:

$$R_A = -R_A' + R_A'' \quad R_A = -7,02 + 21,43 = 14,41 \text{ kN}$$

$$R_B = R_B' + R_B'' \quad R_B = 7,02 + 8,57 = 15,59 \text{ kN}$$

Resumo

Materiais sólidos tendem a deformar-se (ou eventualmente se romper) quando submetidos a solicitações mecânicas. Solicitação é todo esforço ou conjunto de esforços exercidos pelas ações sobre uma ou mais seções de um elemento da estrutura. As solicitações provocam na estrutura tensões normais, podendo ser de tração ou de compressão e tensões de cisalhamento.

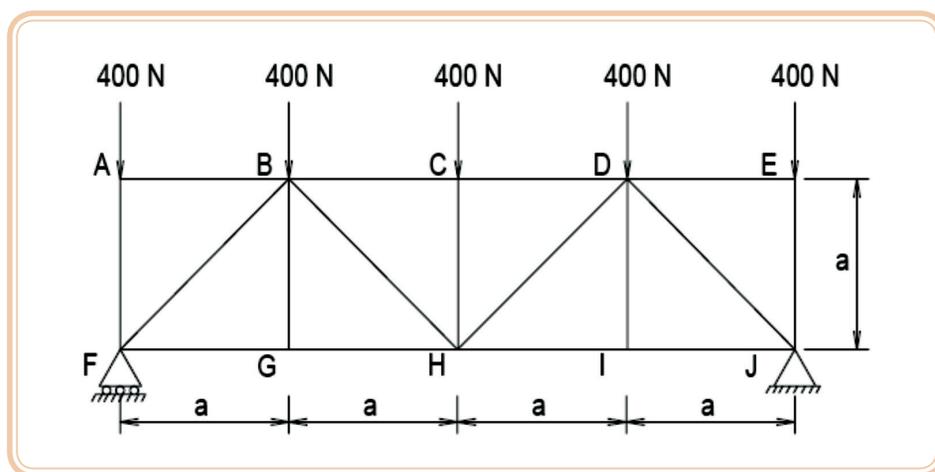
As relações entre tensões e deformações para um determinado material são encontradas por meio de ensaios de tração. Nesses ensaios são medidos os alongamentos δ correspondentes aos acréscimos de carga axial P , que se aplicam à barra, até a ruptura do corpo-de-prova.

Obtêm-se as tensões dividindo as forças pela área da seção transversal da barra e as deformações específicas, dividindo o alongamento pelo comprimento ao longo do qual a deformação é medida. Desse modo obtém-se um diagrama tensão-deformação do material.

Atividades de aprendizagem



1. Determine a força em cada barra da treliça ilustrada (Exercício 1.1). Indique se cada barra está tracionada ou comprimida.



Exercício 1.1: Treliza

Fonte: autor

Respostas:

$$F_{AB} = F_{DE} = F_{BG} = F_{DI} = 0$$

$$F_{AF} = F_{CH} = F_{EJ} = 400 \text{ N C (compressão)}$$

$$F_{BC} = F_{CD} = 800 \text{ N C (compressão)}$$

$$F_{BF} = F_{DJ} = 849 \text{ N C (compressão)}$$

$$F_{BH} = F_{DH} = 283 \text{ N T (tração)}$$

$$F_{FG} = F_{GH} = F_{HI} = F_{IJ} = 600 \text{ N T (tração)}$$

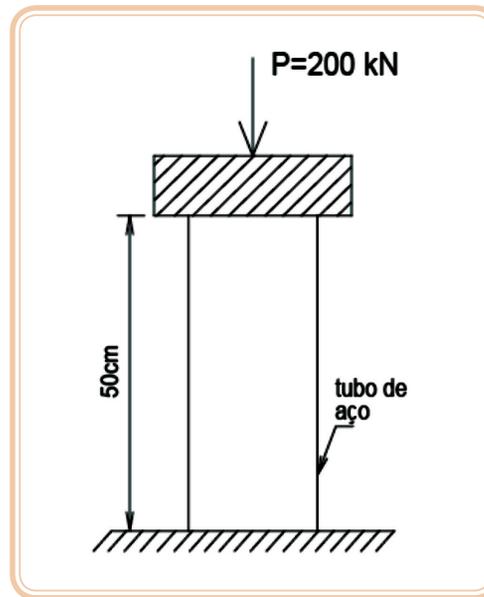
2. A um tubo de aço se aplica uma carga axial de 200 kN por meio de uma placa rígida (Exercício 2.1). A área da seção transversal do cilindro de aço é 20 cm². Determinar o acréscimo de temperatura ΔT para o qual a carga



Conheça o livro “**Resistência dos materiais**”, de Hibbeler (2010). O livro, além de apresentar problemas na forma de exemplos ilustrativos, figuras tridimensionais e exercícios, traz problemas propostos em diferentes níveis de dificuldade. Para completar, situações reais são usadas com o objetivo de estimular o interesse do estudante pelo assunto, bem como seções que orientam a solução de problemas diversos.

Leia, também, o livro “**Resistência dos materiais**”, de Johnston Jr. & Ferdinand Beer (1995), que apresenta os conceitos básicos sobre a mecânica dos materiais, mostrando como projetar estruturas de engenharia e componentes mecânicos.

externa seja equilibrada pelos esforços que aparecem nos cilindros de aço e cobre. Dados: $E_{\text{aço}} = 21.000 \text{ kN/cm}^2$; $\alpha_{\text{aço}} = 11,7 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$



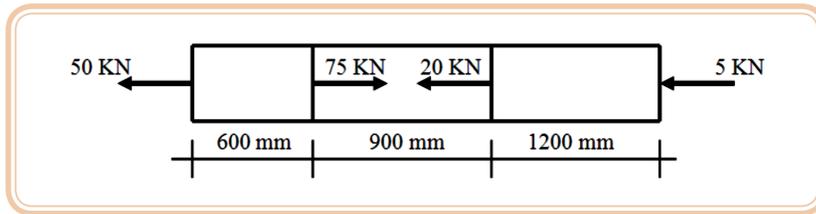
Exercício 2.1: Tubo de aço

Fonte: autor

Resposta:

$$\Delta T = 40,7^\circ\text{C}$$

3. Uma barra de 3 m de comprimento tem seção transversal retangular de 3 cm por 1 cm. Determinar o alongamento produzido pela força axial de 60 N, sabendo-se que $E = 200 \text{ GPa}$.
4. Uma barra de 6 m de comprimento tem seção transversal de 6 cm por 3 cm. Determinar o alongamento produzido pela força axial de 110 N, sabendo-se que $E = 210 \text{ GPa}$.
5. Uma barra prismática está submetida à tração axial. A área da seção transversal é $6,25 \text{ cm}^2$ e o seu comprimento, 3,6 m. Sabendo-se que o alongamento é de 2,31 mm e que corresponde à força de 6,5 kN, determine o módulo de elasticidade do material.
6. Uma barra de latão com $S = 937,5 \text{ mm}^2$ está submetida às forças axiais indicadas na figura Exercício 6.1. Sendo $E = 104 \text{ GPa}$, qual o valor de ΔL ?



Exercício 6.1: Barra de latão

Fonte: autor

Referências

ANDRADE, Fábio Emanuel Garcia. **Obtenção de materiais com propriedades térmicas extremas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2010. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/20373/1/F%C3%A1bio_Andrade_2003115108_MAN_02.pdf>.

BEER, F. P.; JOHNSTON JR., E. R. **Resistência dos materiais**. 3. ed. Makron Books, 1995.

GERE, J. M. **Mecânica dos materiais**. 5. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning LTDA, 2003.

GORFIN, B.; OLIVEIRA, M. M. **Estruturas isostáticas**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7. ed. Editora Pearson, 2010.

MESQUITA, Luís M. R. Equilíbrio de corpos rígidos. In: _____. **Mecânica aplicada I**. Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, 2009. cap. 4. Apostila.

NASH, W. **Resistência dos materiais**. 3. ed. São Paulo: Editora Mc Graw Hill, 1990.

RILEY, W. F.; STURGES, L. D.; MORRIS D. H. **Mecânica dos materiais**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

TIMOSHENKO, S. P. **Resistência dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

TRAUTWEIN, Leandro M. **Resistência dos materiais**. 2005. Notas de aulas.

Currículo do professor-autor

Wildemberg Raiol de Assunção é Engenheiro Civil graduado pela UFPa (2005), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UFPa (2007), Mestrando em Engenharia do Ambiente pela UTAD-PT (início, 2012). Professor do quadro permanente do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFPA – Campus Belém), atuando na área de saneamento urbano, agrimensura, construção civil e segurança do trabalho. Também foi coordenador do Curso Técnico em Edificações do Trabalho (2008-2009) e do Curso Técnico em Segurança do Trabalho (2009-2010) na mesma Instituição. Consultor técnico na área da construção civil e segurança do trabalho. Coordenador de projetos de ensino e extensão na área do saneamento urbano, construção civil e segurança no trabalho. Autor de projetos na área de arquitetura, instalações elétricas e hidráulicas, estruturas e combates a incêndio.



