e-Tec Brasil

Física Aplicada para Edificações

Edio da Costa Junior

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MINAS GERAIS
Campus Ouro Preto

Ouro Preto - MG
2017

Presidência da República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica

Este caderno foi elaborado em parceria entre o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Ouro Preto e a Universidade Federal de Santa Maria para a Rede e-Tec Brasil.

Equipe de Elaboração
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG-Ouro Preto

Reitor
Kléber Gonçalves Glória/IFMG

Direção Geral
Maria da Glória dos Santos Laia/IFMG-Ouro Preto

Coordenação Institucional
Amanda Carolina Costa Silveira/IFMG-Ouro Preto

Coordenação de Curso
Cláudio Fernando de Souza/IFMG-Ouro Preto

Professor-autor
Edio da Costa Junior/IFMG-Ouro Preto

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

Coordenação Institucional
Paulo Roberto Colusso/CTISM

Coordenação de Design
Erika Goellner/CTISM

Revisão Pedagógica
Juliana Prestes Oliveira/CTISM

Revisão Textual
Nilza Mara Pereira/CTISM

Revisão Técnica
Mario Reginaldo Fialho Dorneles/CTISM

Ilustração
Marcel Santos Jacques/CTISM
Morgana Confortin/CTISM
Ricardo Antunes Machado/CTISM

Diagramação
Emanuelle Shaiane da Rosa/CTISM
Tagiane Mai/CTISM

Biblioteca Tarquínio J. B. de Oliveira – IFMG Campus Ouro Preto

C837f Costa Junior, Edio da.
Física aplicada para edificações. / Edio da Costa Junior. Ouro Preto: Instituto Federal de Minas Gerais, 2017.
97 f. il.
ISBN: 978-85-9450-026-7

Caderno didático produzido para a “rede e-Tec-Brasil”.

1. Física. I. Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Ouro Preto. I. Título.

CDU 53:69

Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,
Bem-vindo à Rede e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional de ensino, que por sua vez constitui uma das ações do Pronatec – Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego. O Pronatec, instituído pela Lei nº 12.513/2011, tem como objetivo principal expandir, interiorizar e democratizar a oferta de cursos de Educação Profissional e Tecnológica (EPT) para a população brasileira propiciando caminho de o acesso mais rápido ao emprego.

É neste âmbito que as ações da Rede e-Tec Brasil promovem a parceria entre a Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC) e as instâncias promotoras de ensino técnico como os Institutos Federais, as Secretarias de Educação dos Estados, as Universidades, as Escolas e Colégios Tecnológicos e o Sistema S.

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 promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes, geograficamente ou economicamente, dos grandes centros.

A Rede e-Tec Brasil leva diversos cursos técnicos a todas as regiões do país, incentivando os estudantes a concluir o ensino médio e realizar uma formação e atualização contínuas. Os cursos são ofertados pelas instituições de educação profissional e o atendimento ao estudante é realizado tanto nas sedes das instituições quanto em suas unidades remotas, os polos.

Os parceiros da Rede e-Tec Brasil acreditam em uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e 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 2017

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

A disciplina que iniciaremos objetiva compartilhar conceitos e aplicações físicas que serão muito úteis em suas vidas e indispensáveis no exercício de suas futuras profissões na área da construção civil. Uma vez que o conteúdo aqui apresentado é oferecido em cursos regulares de ensino médio, vocês terão a oportunidade de revisar e solidificar os conhecimentos previamente adquiridos.

A tarefa de estudar física, muitas vezes, é árdua. No entanto, nenhum grande feito é alcançado sem trabalho e dedicação. Dessa forma, acredito que, se cada aluno se empenhar, estudando os tópicos propostos e realizando as atividades avaliativas semanais, tanto o aprendizado quanto a aprovação na disciplina ocorrerão naturalmente.

Espero que, ao longo da disciplina, a aprendizagem seja sempre alcançada da melhor forma possível. Coloco-me à disposição de cada um de vocês para discussões e acompanhamento ao longo do curso. Dúvidas aparecerão a todo momento e deverão ser sempre sanadas. Assim, o contato com os monitores e comigo deverá acontecer sempre que necessário.

Que os conceitos a serem revisados ou adquiridos sejam somados aos conhecimentos já conquistados, para que o resultado seja a formação que conduza cada um de vocês à desejada realização profissional.

Bom trabalho e excelentes estudos!
Professor Edio da Costa Junior

Apresentação da disciplina

A física é uma ciência que está muito presente em nossas vidas. Em grande parte de nossas ações cotidianas e profissionais, usamos, com frequência, conceitos e conhecimentos físicos. Os vários ramos da engenharia vêm sendo impulsionados com o descobrimento e o desenvolvimento de novas tecnologias, que possibilitam a criação de materiais, produtos e equipamentos cada vez melhores.

A construção civil vem se desenvolvendo num ritmo notável. Nos últimos anos, constatamos uma forte demanda por novos imóveis (para moradia e comércio) e grandes e modernas construções foram finalizadas ou estão em andamento, tendo em vista as Olimpíadas e a Copa do Mundo recém realizadas no país.

Paralelamente, máquinas, equipamentos e materiais de construção mais elaborados e eficientes, aliados às novas técnicas construtivas, estão agilizando os trabalhos. Entretanto, a mão de obra qualificada, que vem sendo requerida num ritmo acelerado, encontra-se defasada.

Nesse contexto, o técnico em edificações precisa estar bem preparado, adquirindo conhecimento e raciocínio mais avançados. Independentemente do tamanho da obra em que estiver envolvido, sua competência profissional sempre será colocada à prova. O estudo da física, certamente, possibilitará a esse técnico melhores condições para enfrentar os desafios inerentes às suas atividades profissionais, que, constantemente, surgirão no dia a dia do seu trabalho.

Este material está escrito em linguagem simples e acessível. Além disso, ilustrações e exemplos resolvidos foram incluídos ao longo das aulas, buscando facilitar a compreensão dos assuntos. Acredita-se que é plenamente possível ao estudante comprometido com os estudos ter um bom aprendizado.

Com o intuito de cobrir todo o conteúdo da disciplina de Física Aplicada, este material está estruturado da seguinte forma:

- A primeira aula corresponde às 3 leis da mecânica de Newton.

- Na segunda aula, são tratados os assuntos atrito, plano inclinado e queda livre.

- Equilíbrio de corpos extensos e alavancas são apresentados na terceira aula.

- Roldanas ou polias é o tópico da quarta aula.

- Finalmente, na quinta aula, são apresentados os conceitos referentes à hidrostática, ou seja, o estudo dos fluidos em equilíbrio.

Como complemento a este material, é sugerido aos estudantes, sempre que necessário, buscarem diferentes fontes de estudo. As obras apresentadas nas referências bibliográficas são bastante adequadas para esse fim.

Projeto instrucional

Disciplina: Física Aplicada para Edificações (carga horária: 45h).

Ementa: Leis de Newton. Atrito. Plano inclinado. Queda livre. Equilíbrio de corpos extensos. Máquinas simples. Hidrostática.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Leis de Newton	Entender as três leis de Newton que governam os movimentos dos corpos, aplicando-as para a solução de problemas do dia a dia.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: *links*, exercícios.	09
2. Atrito, plano inclinado e queda livre	Compreender o papel e a importância das forças de atrito. Entender a decomposição da força peso em uma superfície inclinada. Compreender a física e as equações que regem a queda de corpos próximos à superfície da Terra. Aplicar os conhecimentos obtidos na resolução de problemas físicos cotidianos.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: *links*, exercícios.	09
3. Equilíbrio de corpos extensos e alavancas	Compreender o equilíbrio de rotação de corpos longos. Entender o mecanismo de funcionamento de alavancas. Aplicar os conceitos aprendidos para a resolução de problemas do cotidiano.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: *links*, exercícios.	09
4. Roldanas ou polias	Compreender o funcionamento de roldanas móveis e fixas. Aplicar os conceitos aprendidos para a resolução de problemas do cotidiano.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: *links*, exercícios.	09
5. Hidrostática	Compreender os conceitos básicos da hidrostática. Aplicar os conceitos aprendidos para a resolução de problemas do cotidiano.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática. Recursos de apoio: *links*, exercícios.	09

Aula 1 – Leis de Newton

Objetivos

Entender as três leis de Newton que governam os movimentos dos corpos, aplicando-as para a solução de problemas do dia a dia.

1.1 Considerações iniciais

Nós vivemos em um universo extremamente dinâmico. Frente a isso, os movimentos dos corpos ao nosso redor sempre foram objetos de curiosidade e estudo ao longo da história.

Muitas teorias sobre tais movimentos foram sugeridas. No entanto, o primeiro pesquisador a descrever matematicamente e de forma precisa as teorias já existentes foi Isaac Newton, um inglês que viveu entre 1642 e 1727. Dessa forma, o estudioso consolidou as bases da mecânica clássica, formulando o que, hoje, conhecemos como as 3 leis de Newton.

1.2 Força e resultante de forças

Temos, intuitivamente, a ideia do que é força. No entanto, seu conceito físico é de extrema importância para a compreensão dos movimentos. Podemos defini-la da seguinte forma:

Força é o agente físico capaz de causar aceleração em um corpo ou mudar a direção de seu movimento, ou, ainda, deformá-lo.

A força é uma grandeza vetorial, possuindo módulo, direção e sentido. Assim, uma partícula somente sofrerá aceleração ou terá a direção do seu movimento alterada se, sobre ela, atuar uma força. Como alguns exemplos de força podemos destacar um carro puxando um reboque através de um engate, um jogador de futebol chutando uma bola ou uma pessoa empurrando um carrinho de bebê. Essas forças necessitam de um contato para existirem, sendo chamadas de forças de contato. Já a força atrativa que existe entre um ímã e um pedaço de ferro ou a força de atração entre a Terra e a Lua, por exemplo, são forças que agem a distância e são chamadas de forças de campo.

Quando duas ou mais forças agem sobre um corpo, sempre podemos substituí-las por uma única força imaginária que, sozinha, causaria o mesmo efeito de todas as forças combinadas. Consideremos a Figura 1.1(a), na qual duas pessoas puxam, em sentidos contrários, um objeto sobre uma mesa horizontal. A pessoa **A** puxa o objeto para a direita, aplicando uma força $\mathbf{F_A}$ (escrevemos em negrito pois estamos falando do vetor força, e não apenas do seu módulo) e a pessoa **B** puxa o objeto para a esquerda, por meio da força $\mathbf{F_B}$. Se apenas uma pessoa puxasse o objeto, ele se movimentaria no sentido da força aplicada e adquiriria uma aceleração **a** no mesmo sentido. No entanto, na situação em que ambas as pessoas exercem forças, o objeto poderá se mover de diferentes maneiras. Poderá, inclusive, permanecer parado, dependendo da intensidade das forças aplicadas. No caso de $F_A > F_B$, o objeto se move com aceleração para a direita. Na situação onde $F_B > F_A$, o movimento aconteceria acelerado para a esquerda. Por fim, se $F_B = F_A$, a força resultante e a aceleração seriam nulas, não ocorrendo movimento.

Assista a um vídeo sobre força em: https://www.youtube.com/watch?v=ZjQgvlVvWkw&index=6&list=PL3qONjKuaO2QIYCrrjGChAne4EQ7hHCC0

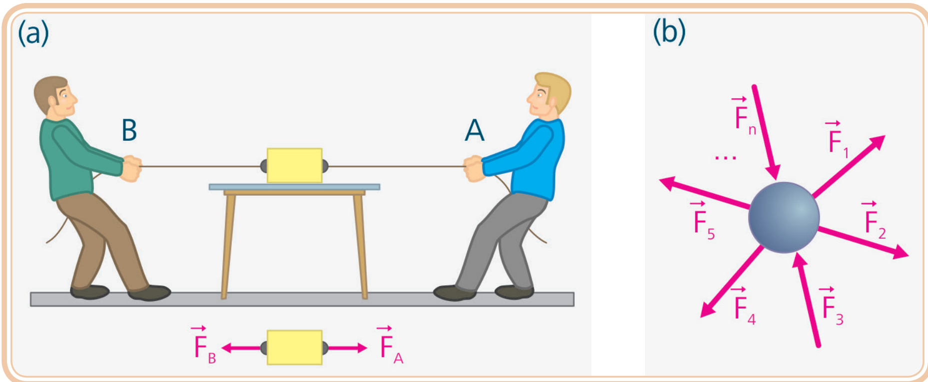

Figura 1.1: Representação de duas forças sendo aplicadas a um mesmo corpo (a) e representação de n forças aplicadas em um mesmo corpo (b)
Fonte: CTISM, adaptado de Doca; Biscuola; Bôas, 2010

A força resultante entre $\mathbf{F_A}$ e $\mathbf{F_B}$ equivale a uma força única que, se aplicada sozinha, imprimiria ao bloco a mesma aceleração que $\mathbf{F_A}$ e $\mathbf{F_B}$ produzem juntas.

Na Figura 1.1(b), é mostrado um outro exemplo, no qual um sistema de n forças atuam sobre uma partícula. A força **F** resultante desse sistema é dada pela soma vetorial: $\mathbf{F} = \mathbf{F_1} + \mathbf{F_2} + \mathbf{F_3} + \ldots + \mathbf{F_n}$. É importante ter sempre em mente que a resultante **F** não é uma força a mais a agir sobre a partícula, mas somente uma adição vetorial que representa a ação de todas as forças juntas.

1.3 A força peso

Intuitivamente, todos têm a noção do que é o peso. Os conceitos de leve ou pesado são completamente compreendidos pelo senso comum. Mas o que, na verdade, é o peso de um corpo?

O peso **P** é uma força que aparece devido à atração gravitacional que a Terra exerce sobre todos os objetos em suas proximidades. Essa força é dirigida para baixo, em direção ao centro do planeta. É ela quem faz com que os corpos abandonados caiam em movimento acelerado até colidirem com o solo.

A aceleração produzida pela força peso **P** é chamada aceleração da gravidade ou aceleração gravitacional **g**. A força peso **P** e a aceleração da gravidade **g** têm a mesma orientação, ambas dirigidas ao centro do planeta. O valor médio dessa aceleração é 9,81 m/s^2. No entanto, para a resolução de exercícios, costuma-se usar o valor aproximado de 10 m/s^2.

Assim, o peso de um corpo é o valor da força de atração gravitacional exercida pelo planeta sobre ele. Para calcular o seu módulo, usamos a expressão $P = m \times g$, na qual m é a massa do corpo. Por fim, é importante ressaltar que a massa de um corpo é uma característica sua e tem o mesmo valor em qualquer parte do universo. O mesmo não ocorre com o peso, já que depende do módulo da aceleração local, g. Na Lua, por exemplo, uma pessoa teria cerca de 1/6 do seu peso na Terra, pois o módulo da aceleração da gravidade, na Lua, é cerca de 1,67 m/s^2, correspondendo a aproximadamente 1/6 de 9,8 m/s^2.

1.4 O conceito de inércia

Um acontecimento muito conhecido e, talvez, já experimentado por todos diz respeito à situação em que um ônibus, inicialmente parado, entra em movimento e um passageiro que viaja em pé no corredor é aparentemente "jogado" para trás. Com o ônibus parado, a sua velocidade e a velocidade do passageiro são nulas em relação à Terra. Quando o motorista "arranca" com o veículo, uma força de propulsão dos motores age sobre o ônibus, impulsionando-o para a frente. O que de fato acontece com o passageiro é que ele é "deixado" para trás pelo ônibus. Dito em outras palavras, seu corpo manifesta a inércia de repouso e tende a manter seu estado de repouso em relação à Terra.

No caso em que o ônibus diminui sua velocidade, a situação é invertida. Quando o motorista pisa no freio, o passageiro é, aparentemente, "jogado para a frente”. O que acontece, nesse caso, é que a força dos freios age sobre o ônibus, retardando seu movimento, mas nenhuma força age sobre o corpo da pessoa. Assim, o passageiro tende a manter sua velocidade em relação à Terra e continua seu movimento, apesar da desaceleração do veículo. Nessa situação, o corpo da pessoa manifesta a inércia de movimento. Podemos dizer o seguinte:

A inércia é a tendência que todos os corpos apresentam a manter seus estados de movimento.

A inércia é uma característica intrínseca da matéria. Assim, tudo que possui massa possui inércia.

É necessário que uma força aja sobre um corpo para vencer sua inércia; quanto maior a massa de um corpo, maior sua inércia.

1.5 Primeira lei de Newton ou princípio da inércia

A primeira lei de Newton (ou princípio da inércia) pode ser enunciada da seguinte forma:

Se a força resultante sobre um corpo é nula, o corpo permanece em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

Como exemplo, podemos considerar o caso de uma patinadora se movendo em linha reta sobre uma superfície de gelo perfeitamente lisa, plana e horizontal, em um local onde podemos desconsiderar as forças de atrito e de resistência do ar e a ação dos ventos. Se nenhuma força resultante agir sobre a patinadora, seu movimento será retilíneo e com velocidade constante (movimento retilíneo uniforme, ou MRU). Por outro lado, se ela estiver, inicialmente, em repouso, somente poderá entrar em movimento se uma força resultante agir sobre ela.

As duas considerações anteriores sobre o movimento da patinadora mostram que, realmente, as inércias de repouso e de movimento de um corpo somente podem sem vencidas se houver uma força resultante não nula agindo sobre ele.

1.6 Segunda lei de Newton ou princípio fundamental da dinâmica

Quando uma partícula é submetida à ação de uma força resultante **F** não nula, como efeito, ela adquirirá uma aceleração **a**. Ou seja, sua velocidade sofrerá variações com o passar do tempo. Como visto anteriormente, a aceleração tem a mesma direção e sentido da força resultante.

Consideremos, como exemplo, uma partícula sujeita à ação de uma força horizontal resultante não nula com sentido para a direita. Se a intensidade dessa força aumentar, verificamos que a aceleração imposta à partícula também aumentará, ou seja, as variações em sua velocidade serão cada vez maiores para um mesmo intervalo de tempo. A Figura 1.2 exemplifica essa situação. A partícula é submetida, sucessivamente, à ação das forças resultantes $\mathbf{F_1}$, $\mathbf{F_2}$ e $\mathbf{F_3}$ com $F_1 < F_2 < F_3$. Consequentemente, adquire acelerações $\mathbf{a_1}$, $\mathbf{a_2}$ e $\mathbf{a_3}$, com $a_1 < a_2 < a_3$.

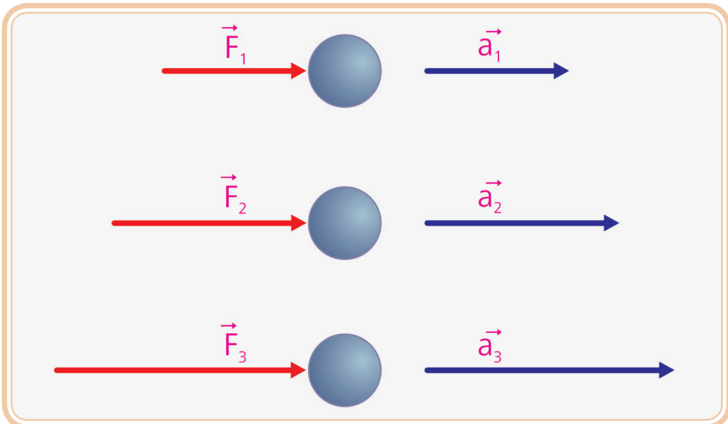

Figura 1.2: Três forças de intensidades diferentes sendo aplicadas a um mesmo corpo, produzindo diferentes acelerações. A razão entre a força aplicada e a aceleração adquirida é a massa do corpo
Fonte: CTISM, adaptado do autor

O módulo da aceleração é diretamente proporcional ao módulo da força resultante. Assim, para um mesmo corpo, podemos escrever:

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{F_3}{a_3} = m = \text{constante}$$

Das relações acima, pode-se notar que, realmente, a massa é proporcional à inércia de um corpo. Quanto maior a massa de uma partícula, maior é a força necessária para causar-lhe uma mesma aceleração.

Dessa forma, a segunda lei de Newton pode ser expressa vetorialmente como:

Equação 1.1

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Ou, escalarmente:

Equação 1.1

$$F = m \times a$$

A primeira forma da Equação 1.1 é uma equação vetorial e diz que, além da aceleração ser proporcional à força resultante que atua sobre um corpo, ela possui sempre a mesma direção e sentido dessa força. No entanto, para nossos propósitos, podemos considerar sua forma escalar.

Podemos, agora, enunciar a segunda lei de Newton da seguinte forma:

Se uma força resultante **F** age sobre uma partícula, como consequência, a partícula adquire uma aceleração **a** na mesma direção e no mesmo sentido de **F**. O valor da aceleração adquirida é proporcional ao valor da força aplicada.

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de massa [m] é o quilograma (kg). Já a unidade de aceleração [a] é o metro por segundo ao quadrado (m/s^2). Como F = m × a, podemos deduzir a unidade de força [F]:

Equação 1.2

$$[F] = [m] \times [a] \rightarrow [F] = kg \times \frac{m}{s^2} = newton = N$$

1 N é a intensidade da força que, aplicada a uma partícula de massa igual a 1 kg, produz uma aceleração de módulo igual a 1 m/s^2.

1.7 Terceira lei de Newton ou princípio da ação e reação

Consideremos a situação mostrada na Figura 1.3(a), em que um homem empurra horizontalmente, para a direita, um bloco pesado. Ao empurrar o bloco, o homem aplica sobre ele uma força $\mathbf{F_{HB}}$, que é chamada de força de ação. Porém, o bloco também exerce uma força sobre o homem, como mostra a Figura 1.3(b). Essa força, representada por $\mathbf{F_{BH}}$, é dirigida para a esquerda, ou seja, oposta à força aplicada pelo homem, sendo chamada de força de reação.

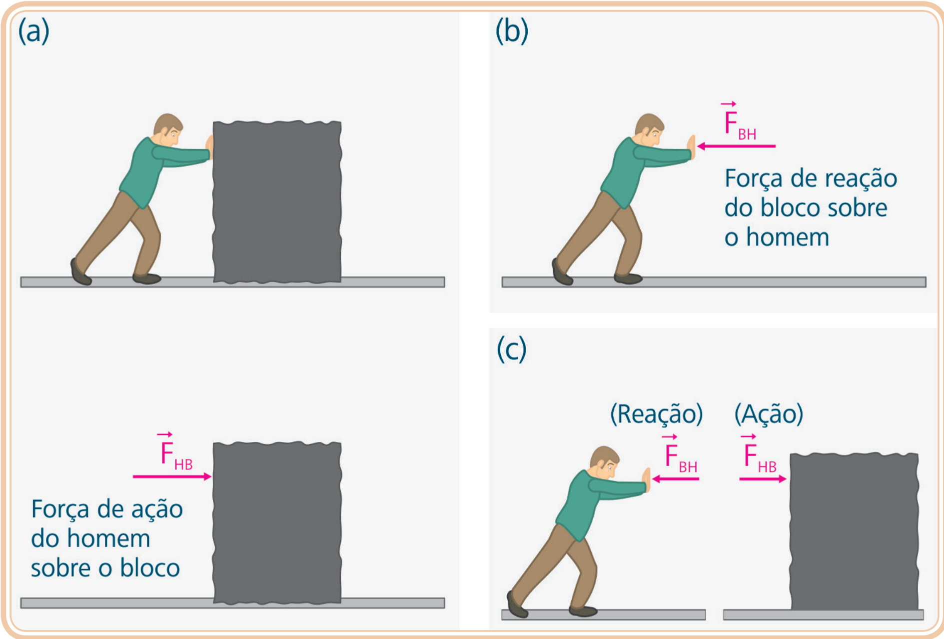

Figura 1.3: Força de ação F_{HB} aplicada pelo homem sobre o bloco (a), força de reação F_{BH} que o bloco aplica sobre o homem (b) e representação mostrando que as forças de ação e reação agem sempre sobre corpos diferentes (c)
Fonte: CTISM, adaptado de Doca; Biscuola; Bôas, 2010

Como a força exercida pelo homem sobre o bloco $\mathbf{F_{HB}}$ é oposta à força exercida pelo bloco sobre o homem $\mathbf{F_{BH}}$, podemos representá-las vetorialmente da seguinte forma: $\mathbf{F_{HB} = -F_{BH}}$. Devemos entender que as forças têm mesma intensidade e mesma direção, mas sentidos opostos. Supondo que, por exemplo, a intensidade da força de ação (F_{HB}) seja de 900 N, a intensidade da força de reação (F_{BH}) também será de 900 N.

Uma característica muito importante sobre as forças de ação e reação é que elas são sempre aplicadas a corpos diferentes. Na situação anterior, a força de ação é aplicada sobre o bloco, enquanto a força de reação está aplicada na pessoa. A Figura 1.3(c) mostra o sentido da força de ação e da força de reação, bem como a que corpo cada uma delas é aplicada.

Dessa forma, podemos enunciar a terceira lei de Newton (ou princípio da ação e reação) da seguinte maneira:

A qualquer força de ação corresponde sempre uma força de reação. Essas forças têm sempre a mesma intensidade, a mesma direção e sentidos opostos. As forças de ação e reação estão sempre aplicadas a corpos diferentes.

Como exemplo de uma situação de nossa vida prática relacionada ao princípio da ação e reação, podemos considerar uma pessoa caminhando. Ao andar, Assista a um vídeo sobre leis de Newton em: https://www.youtube.com/watch?v=BptZoZAZiLo

a pessoa age sobre o chão, "empurrando-o para trás". O chão, por sua vez, reage na pessoa, "empurrando-a para a frente". Um outro exemplo a ser considerado é o choque entre dois automóveis. Ambos os carros se deformam numa situação de colisão, mostrando que um deles age, enquanto o outro reage em sentido contrário.

Existem várias aplicações da terceira lei de Newton. Uma delas é o funcionamento de foguetes que equipam naves espaciais. Tais foguetes funcionam, basicamente, exercendo forças sobre os gases provenientes da combustão do combustível, expelindo-os para trás. Da mesma forma, pelo princípio da ação e reação, os gases exercem forças sobre o foguete, impulsionando-o para frente e provocando a aceleração. Esse é o mesmo princípio de funcionamento dos aviões com propulsão a jato.

1.8 Exemplos resolvidos

Exemplo 1.1

O bloco da Figura 1.4, de massa 4,0 kg, está sujeito à ação das forças horizontais $\mathbf{F_1}$ e $\mathbf{F_2}$, de módulos iguais a 30 N e 20 N, respectivamente. Calcule o módulo da aceleração do bloco.

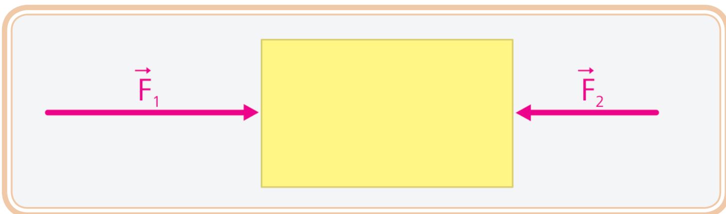

Figura 1.4: Duas forças horizontais aplicadas a um corpo
Fonte: CTISM, adaptado do autor

Como $F_1 > F_2$, o bloco é acelerado para a direita por uma força resultante **F** de intensidade:

$$F = F_1 - F_2 \rightarrow F = (30 - 20)\ N \rightarrow F = 10\ N$$

A aceleração do bloco pode ser calculada através da segunda lei de Newton:

$$F = m \times a \rightarrow a = \frac{F}{m} \rightarrow a = \frac{10\ N}{4\ kg} \rightarrow a = 2,5\ m/s^2$$

Exemplo 1.2

Os dois blocos indicados na Figura 1.5(a) deste exemplo estão em contato, apoiados em um plano horizontal sem atrito. Uma força horizontal de intensidade 100 N é aplicada ao bloco A. As massas dos blocos A e B valem, respectivamente, 6 kg e 4 kg.

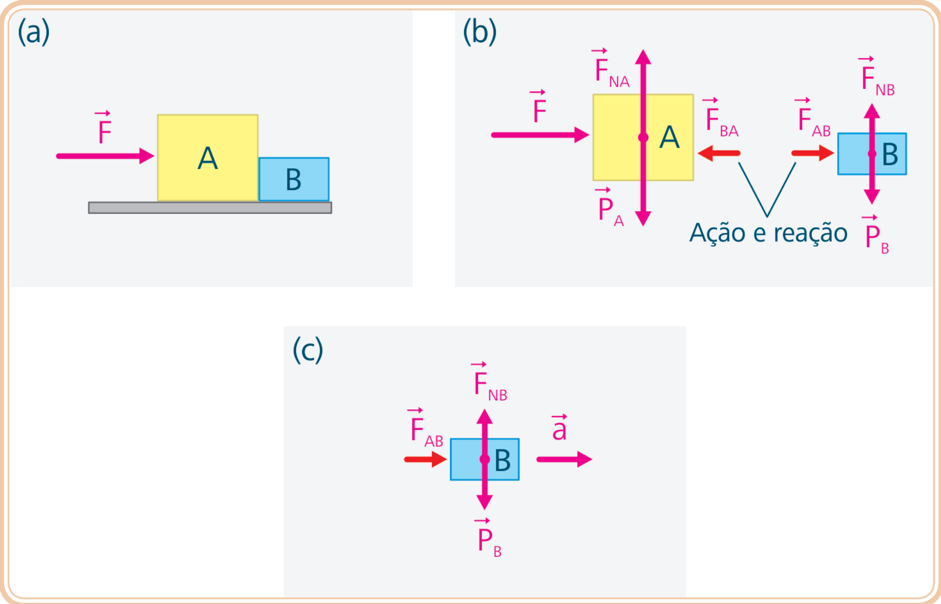

Figura 1.5: Dois corpos em contato sendo empurrados por uma força externa F
Fonte: CTISM, adaptado do autor

a) Calcule o módulo da aceleração adquirida pelo sistema.

Aplicando ao conjunto A + B (de massa total 10 kg) a segunda lei de Newton, temos:

$$F = (m_A + m_B) \times a \rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{100}{10} \rightarrow a = 10\ m/s^2$$

b) Calcule a intensidade da força de contato entre os blocos.

Na região de interesse, os blocos trocam as forças de contato $\mathbf{F_{AB}}$ e $\mathbf{F_{BA}}$, conforme mostram os diagramas de corpo isolado para os dois blocos na Figura 1.5(b). Essas forças constituem um par de ação e reação. A intensidade de $\mathbf{F_{AB}}$ (ou de $\mathbf{F_{BA}}$) pode ser calculada aplicando-se a segunda lei de Newton ao bloco B. Para isso, precisamos de um diagrama de corpo isolado. No diagrama de corpo isolado, devemos representar todas as forças que agem sobre o bloco B, conforme mostra a Figura 1.5(c). A força de reação normal do piso sobre o bloco, $\mathbf{F_{NB}}$, e o peso do bloco, $\mathbf{P_B}$, equilibram-se, uma vez que não há aceleração vertical. Logo, a única força que acelera o bloco B é $\mathbf{F_{AB}}$.

$$F_{AB} = m_B \times a \rightarrow F_{AB} = 4 \times 10 \rightarrow F_{AB} = 40 \text{ N}$$

Exemplo 1.3

A Figura 1.6(a) representa dois blocos, A e B, de massas respectivamente M e 4 M. Os blocos são ligados por um fio ideal e apoiados em uma mesa horizontal sem atrito. Aplica-se ao bloco A uma força horizontal **F** para a direita, de intensidade igual a 60 N.

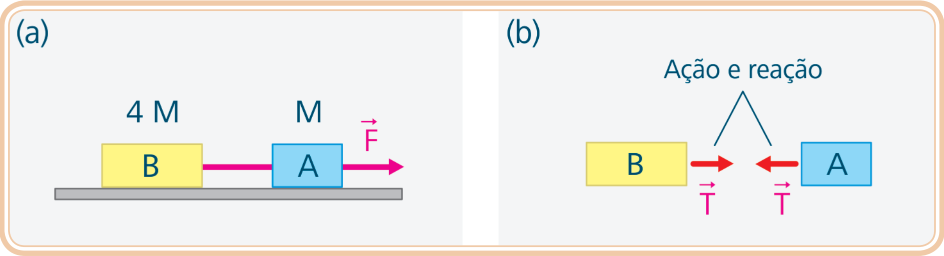

Figura 1.6: Dois corpos ligados por um fio ideal e puxados para a direita por uma força externa F
Fonte: CTISM, adaptado do autor

a) Considerando o valor de M igual a 1 kg, calcule a aceleração do sistema.

Aplicando a segunda lei de Newton ao sistema, temos:

$$F = (m_A + m_B) \times a \rightarrow a = \frac{F}{m_A + m_B} = \frac{60}{5} \rightarrow a = 12 \text{ m/s}^2$$

b) Calcule a intensidade da força de tração no fio.

As forças verticais (peso e força de reação normal) equilibram-se em cada bloco. Assim, para os blocos e o fio, temos os diagramas de forças mostrados no Figura 1.6(b). A força que traciona o fio tem a mesma intensidade da força que acelera o bloco B. Assim, aplicando a segunda lei de Newton ao bloco B:

$$T = m_B \times a \rightarrow T = 4 \times 12 = 48 \text{ N}$$

Exemplo 1.4

O conjunto mostrado na Figura 1.7 possui fio e polia ideais. Quando o sistema é abandonado à ação da gravidade, o bloco B se move para baixo e o bloco A se move para a direita. Considere g = 10 m/s², m_A = 10 kg e m_B = 30 kg.

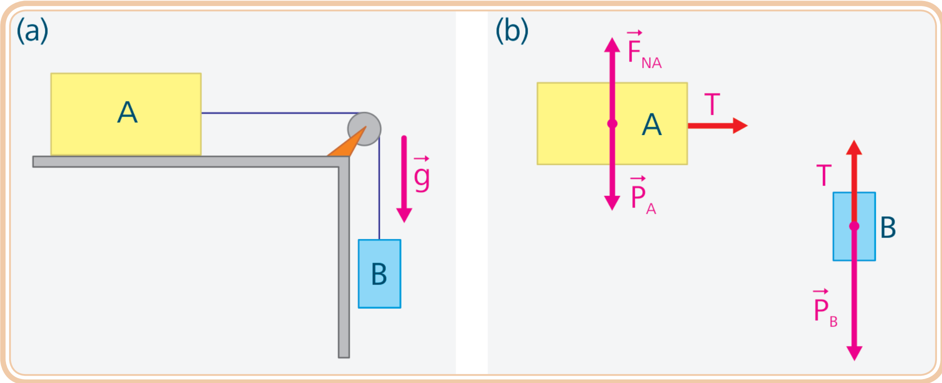

Figura 1.7: Dois corpos ligados por um fio ideal através de uma polia também ideal
Fonte: CTISM, adaptado do autor

a) Calcule o módulo da aceleração do sistema.

Precisamos considerar, inicialmente, o diagrama de corpo isolado de cada bloco, conforme mostrado na Figura 1.7(b). Apliquemos o princípio fundamental da dinâmica na direção do movimento de cada um deles.

Bloco B

$$P_B - T = m_B \times a$$

Bloco A

$$T = m_A \times a$$

Somando as equações acima, podemos calcular a aceleração do sistema:

$$P_B = (m_A + m_B) \times a \rightarrow a = \frac{m_B \times g}{m_A + m_B} \rightarrow a = \frac{30 \times 10}{10 + 30} \rightarrow a = 7{,}5 \text{ m/s}^2$$

b) Calcule a intensidade da força de tração no fio.

Substituindo o valor da aceleração:

$$T = m_A \times a \rightarrow T = 10 \times 7{,}5 \rightarrow T = 75 \text{ N}$$

Exemplo 1.5

Um homem de massa 80 kg encontra-se sobre uma balança graduada em N. Ele e a balança estão dentro de um elevador que se move com aceleração vertical de 1 m/s^2. Adote g = 10 m/s^2.

a) Calcule a indicação na balança no caso da aceleração do elevador ser para cima.

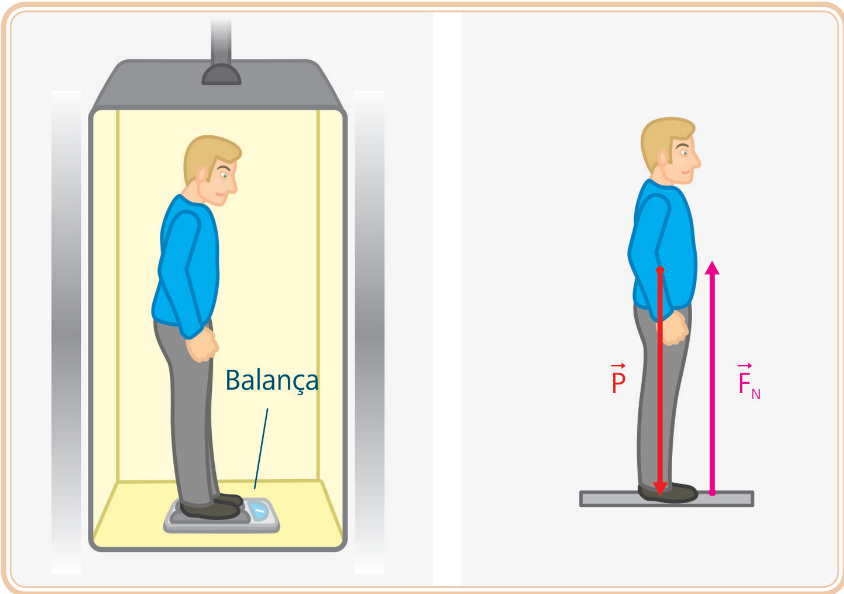

Figura 1.8: Um homem sobre uma balança dentro de um elevador acelerado
Fonte: CTISM, adaptado de Doca; Biscuola; Bôas, 2010

A Figura 1.8 mostra que apenas duas forças agem sobre o homem: seu peso **P** e a força de reação normal da balança $\mathbf{F_N}$. A força de reação normal tem intensidade igual à leitura da balança. Isso ocorre porque o homem e a balança trocam forças de ação e reação na região de contato. A intensidade de $\mathbf{F_N}$ é o peso aparente do homem dentro do elevador. Se o elevador está acelerado para cima, $F_N > P$. Aplicando a segunda lei:

$$F_N - P = m \times a \rightarrow F_N = P + m \times a \rightarrow F_N = m \times (g + a) \rightarrow$$
$$F_N = 80 \times 11 = 880 \text{ N}$$

Assim, no caso do elevador subir acelerado, o peso aparente do homem (880 N) é maior que o peso real (800 N).

b) Calcule a indicação na balança no caso da aceleração do elevador ser para baixo.

Com o elevador acelerado para baixo, $F_N < P$. Aplicando a segunda lei:

$$P - F_N = m \times a \rightarrow F_N = P - m \times a \rightarrow F_N = m \times (g - a) \rightarrow$$
$$F_N = 80 \times 9 = 720 \text{ N}$$

Portanto, quando o elevador desce acelerado, o peso aparente (720 N) é menor que o peso real do homem (800 N).

Resumo

Nessa aula, aprendemos o conceito de força, bem como as três leis de Newton da dinâmica. A partir das leis de Newton, podemos conhecer o estado de movimento de um corpo, bem como calcular sua aceleração.

A primeira lei envolve o conceito de inércia, afirmando que é necessária uma força para mudar o estado de movimento de um corpo.

A segunda lei relaciona a força que é aplicada a um corpo à sua aceleração, sendo a massa a constante de proporcionalidade. Sua expressão matemática é dada pela Equação 1.1.

Finalmente, a terceira lei de Newton diz respeito à ação e reação, afirmando que a toda força de ação corresponde uma força de reação, sendo as forças de mesmo módulo, mesma intensidade e de sentidos opostos. As forças de ação e reação são sempre aplicadas a corpos diferentes.

Uma boa compreensão das leis de Newton é essencial para a sequência do curso.

Atividades de aprendizagem

1. Um astronauta de massa 60,0 kg pesa 600 N na Terra, considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$. Sabendo que, na Lua, a aceleração da gravidade vale um sexto de seu valor na Terra, calcule:

a) A massa do astronauta na Lua.

b) O peso do astronauta na Lua.

2. Um bloco com 2,0 kg de massa é acelerado para cima com aceleração igual a 4,0 m/s². Considere g = 10 m/s².

a) Calcule a intensidade do peso do bloco.

b) Calcule a intensidade da força ascendente que acelera o bloco.

3. No esquema mostrado na Figura 1.9, os blocos têm massas $m_A = 2{,}0$ kg e $m_B = 3{,}0$ kg. O fio é inextensível e tem peso desprezível. Considere $g = 10$ m/s² e F = 80 N.

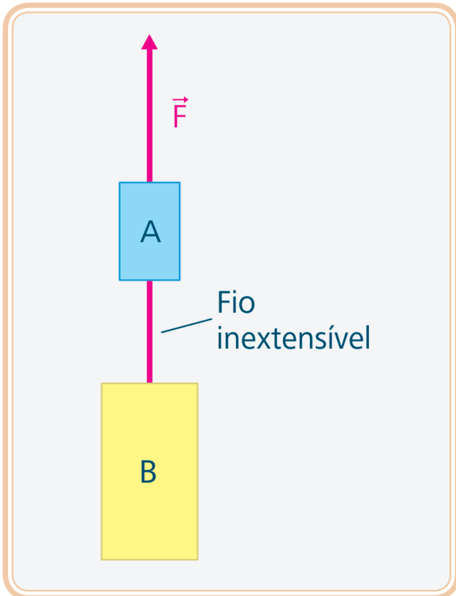

Figura 1.9: Dois corpos sustentados por uma força F e ligados por um fio inextensível
Fonte: CTISM, adaptado do autor

a) Calcule o módulo da aceleração do sistema.

b) Calcule a intensidade da força de tração do fio.

4. Uma força horizontal age sobre um corpo que se encontra sobre uma superfície sem atrito. Sabendo que a massa do corpo é de 3 kg, calcule quanto deve ser a intensidade da força para que ela produza uma aceleração de 0,5 m/s² no corpo.

5. Os blocos A e B têm massas 12,0 kg e 4,0 kg, respectivamente. Ambos repousam sobre uma superfície perfeitamente lisa encostados um no outro. A partir de um certo instante, uma força **F** de intensidade 32 N é aplicada no bloco A.

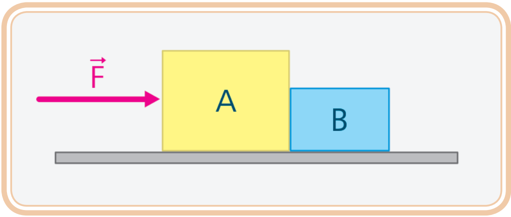

Figura 1.10: Dois corpos em contato sobre uma superfície horizontal sendo empurrados por uma força F
Fonte: CTISM, adaptado do autor

a) Calcule o módulo da aceleração adquirida pelo sistema.

b) Calcule a intensidade da força de contato entre A e B.

6. Considere os blocos de massas $m_A = 4{,}0$ kg e $m_B = 2{,}0$ kg. Sabendo que as forças $\mathbf{F_1}$ e $\mathbf{F_2}$ são horizontais e de intensidades iguais a 40 N e 10 N, respectivamente, calcule a intensidade da força que o bloco B aplica no bloco A. Desconsidere o atrito entre os blocos e o chão.

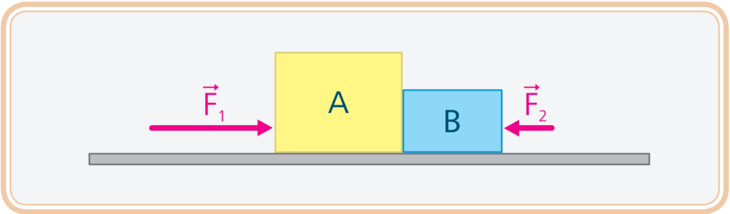

Figura 1.11: Dois corpos em contato e sujeitos à ação de duas forças F_1 e F_2
Fonte: CTISM, adaptado do autor

7. Um homem de massa 80,0 kg encontra-se sobre uma balança graduada em N. Ele e a balança estão dentro de um elevador que se move com aceleração vertical de 4 m/s^2. Adote g = 10 m/s^2.

a) Calcule a indicação na balança no caso da aceleração do elevador ser para cima.

b) Calcule a indicação na balança no caso da aceleração do elevador ser para baixo.

8. Explique por que, quando estamos dentro de um carro que faz uma curva para a direita, somos "jogados" para a esquerda. Explique, também, por que seríamos "lançados" para a frente no caso de uma colisão frontal.

9. Imagine uma situação em que um lutador de boxe, usando luvas adequadas, acerte um soco no rosto do seu oponente. Qual força tem maior intensidade, a força da luva contra o rosto ou a força do rosto contra a luva?

10. Sob a ação exclusiva de duas forças, $\mathbf{F_1}$ e $\mathbf{F_2}$, de mesma direção e sentido, um corpo de 6,0 kg de massa adquire aceleração de módulo igual a 4,0 m/s^2. Se o módulo de $\mathbf{F_1}$ vale 20 N, calcule o módulo de $\mathbf{F_2}$.

11. (UFPE) Um elevador partindo do repouso tem a seguinte sequência de movimentos:

De 0 a t_1, desce com movimento uniformemente acelerado.

De t_1 a t_2, desce com movimento uniforme.

De t_2 a t_3, desce com movimento uniformemente retardado até parar.

Um homem, dentro do elevador, está sobre uma balança calibrada em N. O peso do homem tem intensidade P e a indicação da balança, nos três intervalos citados, assume os valores F_1, F_2 e F_3, respectivamente. Assinale a opção correta:

a) $F_1 = F_2 = F_1 = P$

b) $F_1 < P$; $F_2 = P$; $F_3 < P$

c) $F_1 < P$; $F_2 = P$; $F_3 > P$

d) $F_1 > P$; $F_2 = P$; $F_3 < P$

e) $F_1 > P$; $F_2 = P$; $F_3 > P$

12. Um ônibus se movimenta por uma estrada retilínea horizontal com aceleração constante e não nula. Há uma pedra suspensa por um fio ideal preso ao teto no interior do veículo. Uma passageira olha para o fio e verifica que ele não se encontra na vertical. Com relação a este fato, podemos afirmar que:

a) A única força que age sobre a pedra é seu próprio peso.

b) A inclinação do fio seria menor caso a massa da pedra fosse maior.

c) Podemos determinar a velocidade do ônibus por meio da inclinação do fio.

d) Caso a velocidade do ônibus fosse constante, o fio permaneceria na vertical.

e) A força transmitida pelo fio ao teto é menor que o peso do corpo.

13. O corpo mostrado na Figura 1.12 tem massa igual a 20 kg e é sustentado no ar pela força vertical **F**.

a) Calcule qual deve ser a intensidade da força **F** para que o corpo fique em equilíbrio.

b) Se a força **F** tem módulo igual a 240 N, calcule o módulo e a direção da aceleração imposta ao corpo.

c) Considere, agora, que a intensidade da força **F** seja de 120 N. Calcule, para esse caso, o módulo e a direção da aceleração do corpo.

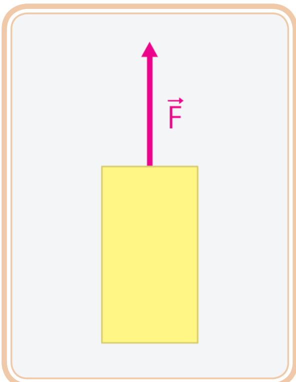

Figura 1.12: Corpo sustentado verticalmente pela força F
Fonte: CTISM, adaptado do autor

Aula 2 – Atrito, plano inclinado e queda livre

Objetivos

Compreender o papel e a importância das forças de atrito.

Entender a decomposição da força peso em uma superfície inclinada.

Compreender a física e as equações que regem a queda de corpos próximos à superfície da Terra.

Aplicar os conhecimentos obtidos na resolução de problemas físicos cotidianos.

2.1 Força de reação normal e força de atrito

Uma força interativa **R** sempre aparece entre dois corpos em contato com tendência de deslizamento. Essa força pode, então, ser decomposta em duas componentes perpendiculares entre si. Uma componente paralela à direção de movimento (ou de tendência de movimento) e outra componente perpendicular a essa direção.

A componente que age na direção perpendicular às superfícies é conhecida como força de reação normal $\mathbf{F_N}$ ou, simplificadamente, força normal. Já a componente paralela ao movimento é chamada de força de atrito $\mathbf{F_{at}}$. A Figura 2.1(a) mostra as componentes da força **R** que agem em um corpo apoiado em uma superfície inclinada.

Assista a um vídeo sobre forças de atrito em: https://www.youtube.com/watch?v=WtFvfoVzyVk

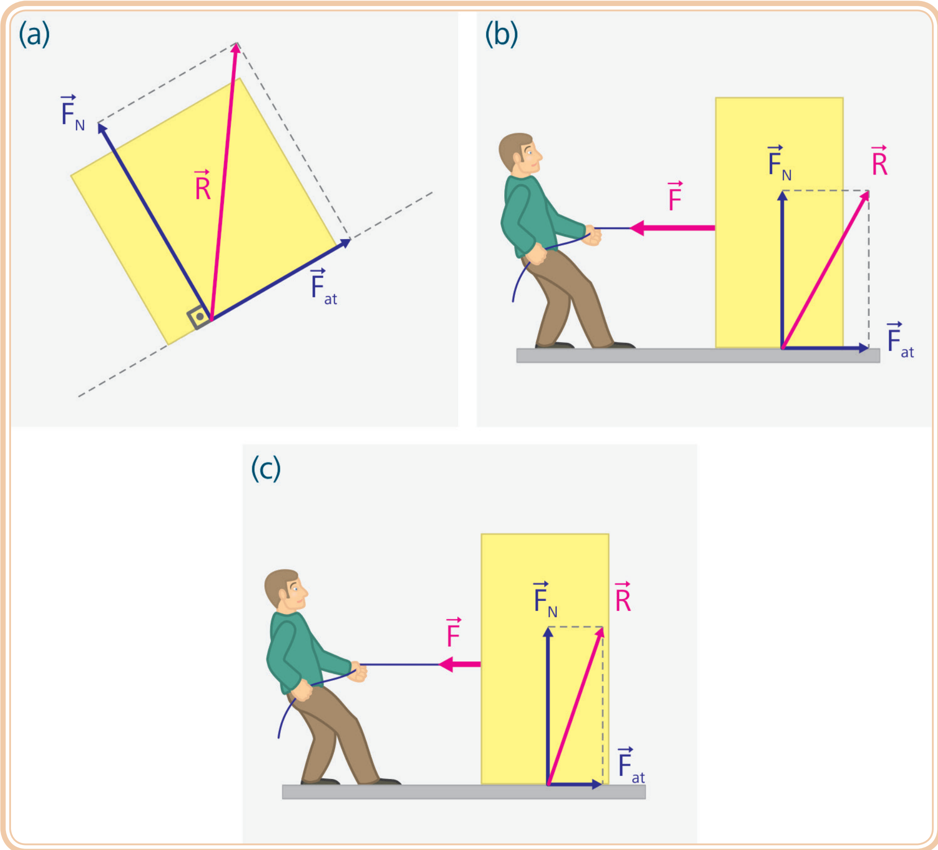

Figura 2.1: Força R agindo em um corpo apoiado em uma superfície inclinada (a), caixa em repouso, na iminência de entrar em movimento (b) e caixa em movimento com velocidade constante (c)
Fonte: CTISM, adaptado de Doca; Biscuola; Bôas, 2010

A força de atrito aparece somente quando as superfícies dos objetos em contato tendem a deslizar uma em relação à outra, ou quando elas, de fato, deslizam. O sentido dessa força é sempre contrário ao sentido do movimento ou da tendência de movimento.

Como exemplo, podemos considerar uma caixa apoiada em uma superfície horizontal. A caixa somente entrará em movimento se uma força resultante não nula atuar sobre ela. Esse caso é mostrado na Figura 2.1(b). Quanto maior for a massa da caixa, maior também será sua inércia.

Quando a força **F** atua sobre a caixa, mas ainda não acontece o deslizamento, a força de atrito que aparece é conhecida como força de atrito estático e seu módulo é tal que:

Equação 2.1

$$F_{at} \leq \mu_e \times F_N$$

Onde: μ_e é o coeficiente de atrito estático

A Equação 2.1 nos diz que, enquanto não há deslizamento entre as superfícies em contato, a intensidade da força de atrito estático é variável. Além disso, seu valor é igual ao valor da componente da força **F** aplicada na direção da tendência de movimento. Quando as superfícies estão na iminência de deslizamento, a força de atrito estático atinge seu valor máximo, dado por:

Equação 2.2

$$F_{at\,(máx)} = \mu_e \times F_N$$

Quando a caixa se movimenta com velocidade constante, a força que é necessária para mantê-la com esse tipo de movimento é menor que a força necessária para tirá-la da situação de repouso. A Figura 2.1(c) mostra essa situação, na qual o módulo da força **F** aplicada é menor que o módulo da força aplicada na Figura 2.1(b), quando a caixa ainda estava em repouso. A força **F** ainda é equilibrada pela força de atrito, que, nesse caso, chama-se atrito dinâmico ou atrito cinético.

Para duas superfícies em contato, a força de atrito dinâmico é menor que a força de atrito estático. Sua intensidade é constante, sendo dada por:

Equação 2.3

$$F_{at} = \mu_d \times F_N$$

Onde: μ_d é o coeficiente de atrito dinâmico

Se a força **F** que atua sobre a caixa cessar, ela ainda se movimentará um pouco mais, enquanto sua velocidade diminuirá gradualmente até parar. Quanto mais liso for o chão, maior será a distância que a caixa deslizará até o repouso, sendo menor a força de atrito.

A força de atrito entre duas superfícies quaisquer depende das suas texturas, sendo menor quanto mais lisas forem as superfícies. As características das superfícies envolvidas são representadas pelos coeficientes de atrito estático e cinético mostrados nas equações anteriores.

A Figura 2.2 mostra, através de um gráfico, a relação entre a intensidade da força de atrito e da força externa **F** aplicada. O deslizamento acontece apenas quando o módulo da força ultrapassa o valor da força de atrito estático máxima. Através do gráfico, também é possível notar que o módulo da força de atrito estático máxima é maior que o módulo da força de atrito cinético.

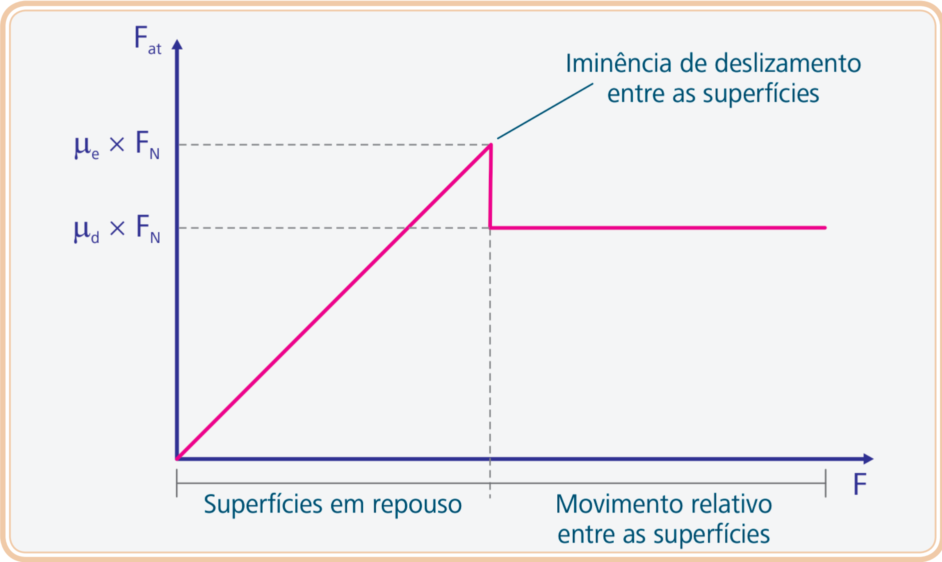

Figura 2.2: Intensidade da força de atrito, F_{at}, como função da força F aplicada sobre o corpo
Fonte: CTISM, adaptado do autor

O mundo sem atrito seria completamente diferente do que conhecemos. É graças ao atrito entre nossos pés e o chão que podemos caminhar, por exemplo. Também sem atrito, um carro não poderia se manter na pista durante a realização de uma curva, ou não poderia parar quando fossem acionados os freios. Sem atrito, o carro sequer entraria em movimento.

No entanto, em alguns casos, como em máquinas e equipamentos mecânicos, o atrito pode ser prejudicial, gerando aquecimento e aumentando o consumo de energia. Nesses casos, é conveniente o uso de óleos ou graxas lubrificantes. Em outras ocasiões, o uso de rodas, roletes cilíndricos ou esferas também é recomendado para diminuir o atrito entre diferentes superfícies.

2.1.1 Exemplo resolvido

Exemplo 2.1

Dois corpos, A e B, pesam, respectivamente, 40 N e 60 N. Eles são ligados por um fio de massa desprezível e inextensível, conforme mostra a Figura 2.3. O coeficiente de atrito dinâmico entre o piso horizontal e o corpo A vale 0,20. A polia C pode girar livremente sem atrito. Considere g = 10 m/s^2.

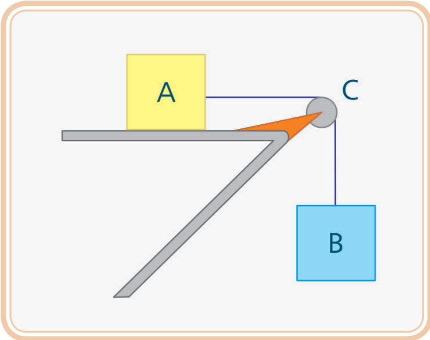

Figura 2.3: Dois blocos ligados por um fio ideal
Fonte: CTISM

a) Calcule a aceleração do sistema.

Para resolver esse exercício, devemos aplicar o princípio fundamental da dinâmica a cada corpo. Sobre o corpo A, agem o seu peso, que é equilibrado pela força de reação normal, a força de tração do fio para a direita e a força de atrito cinético para a esquerda. Sobre o corpo B, agem seu peso e a força de tração do fio.

Corpo A

$$T - F_{atA} = m_A \times a \qquad (I)$$

Corpo B

$$P_B - T = m_B \times a \qquad (II)$$

Somando as equações (I) e (II), obtemos:

$$P_B - F_{atA} = (m_A + m_B) \times a \rightarrow P_B - \mu_d \times F_{NA} = (m_A + m_B) \times a$$

Mas a força de reação normal exercida pelo piso sobre o corpo A é exatamente igual ao seu peso. Assim, $F_{NA} = P_A = 40$ N. Dessa forma:

$$a = \frac{P_B - \mu_d \times P_A}{m_A + m_B} = \frac{60 - 0{,}20 \times 40}{4 + 6} = 5{,}2 \text{ m/s}^2$$

b) Calcule a força de tração no fio.

Podemos usar a equação (II) para calcular a tração no fio.

$$T = P_B - m_B \times a \rightarrow T = m_B \times (g - a) = 6 \times (10 - 5{,}2) = 28{,}8\ N$$

2.2 Plano inclinado

Existem vários exemplos de planos inclinados ao nosso redor. As estradas em aclive ou declive e as rampas de acesso a garagens e prédios são alguns deles. De uma forma direta, um plano inclinado nada mais é que uma superfície plana cujos pontos de início e fim estão em alturas diferentes.

Assista a um vídeo sobre planos inclinados em: https://www.youtube.com/watch?v=c6e3YM_S29g&feature=related

Para equilibrar um corpo de peso **P** sem apoiá-lo, é necessário aplicar uma força **F** para cima de mesma intensidade de **P**. No entanto, se o corpo for apoiado em um plano inclinado, a força que deve ser aplicada para equilibrá-lo tem intensidade F menor que P. Isso ocorre porque o peso **P** sobre o plano inclinado, é decomposto nas componentes normal $\mathbf{P_n}$ e tangencial $\mathbf{P_t}$.

As expressões para P_n e P_t podem ser obtidas através do triângulo laranja da Figura 2.4, com o auxílio das definições de seno e cosseno de um ângulo:

Equação 2.4

$$\cos\alpha = \frac{P_n}{P} \rightarrow P_n = P \times \cos\alpha$$

$$\text{sen}\,\alpha = \frac{P_t}{P} \rightarrow P_t = P \times \cos\alpha$$

Onde: α é o ângulo de inclinação do plano

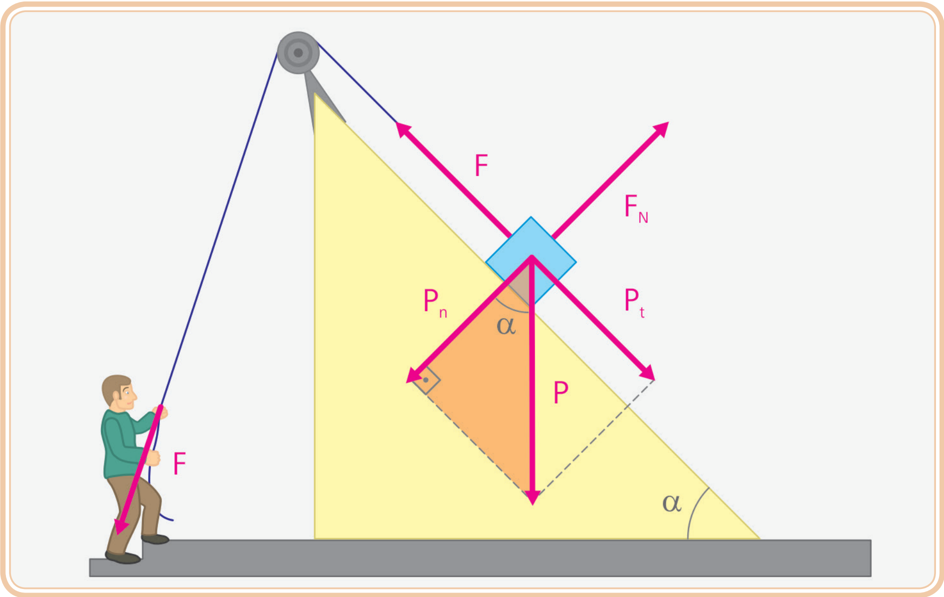

Figura 2.4: Com o auxílio de um plano inclinado, a força F necessária para sustentar o peso tem módulo menor que P
Fonte: CTISM, adaptado de Torres, 2010

Estando o bloco da Figura 2.4 em equilíbrio, a componente de seu peso perpendicular ao plano, $\mathbf{P_n}$, é equilibrada pela reação normal $\mathbf{F_N}$, enquanto a componente do peso paralela ao plano, $\mathbf{P_t}$, é equilibrada pela força **F**. Dessa forma, as Equações 2.4 podem ser escritas, em módulo, como:

Equação 2.5

$$P_n = P \times \cos\alpha = F_N$$

$$P_t = P \times \operatorname{sen}\alpha = F$$

Como $0° \leq \alpha \leq 90°$, sen $\alpha \leq 1$ e $F \leq P$. Isso demonstra que, para equilibrar um corpo por meio de um plano inclinado, é necessária uma força de intensidade menor que o peso do corpo.

2.2.1 Exemplo resolvido

Exemplo 2.2

A Figura 2.5 mostra dois corpos de massa 20 kg cada um. O coeficiente de atrito cinético entre o plano inclinado e o corpo B vale 0,25. Desconsidere o peso do fio e admita que a polia possa girar livremente sem atrito. Considere $g = 10\ m/s^2$, sen 30° = 0,5 e cos 30° = 0,87.

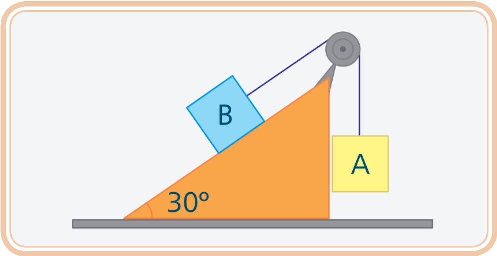

Figura 2.5: Dois corpos equilibrados através de um plano inclinado
Fonte: CTISM, adaptado de Paraná, 2003

a) Calcule a aceleração do sistema.

Aplicando o princípio fundamental da dinâmica a cada corpo:

Corpo A

$$P_A - T = m_A \times a \qquad \text{(I)}$$

Corpo B

$$T - P_{tB} - F_{atB} = m_B \times a \qquad \text{(II)}$$

Somando as equações (I) e (II):

$$P_A - P_{tB} - F_{atB} = (m_A + m_B) \times a \rightarrow a = \frac{P_A - P_{tB} - F_{atB}}{m_A + m_B}$$

O peso do corpo A é igual ao peso do corpo B ($P_A = P_B = 20 \times 10 = 200$ N). A componente do peso do bloco B paralela ao plano é dada por $P_{tB} = P_B \times \text{sen}(30º) = 200 \times 0,5 = 100$ N. O valor da reação normal do plano sobre o bloco B vale $F_{NB} = P_{nB} = P_B \times \cos(30º) = 200 \times 0,87 = 174$ N. Assim, a intensidade da força de atrito que age sobre o bloco B é $F_{atB} = \mu_d \times F_{NB} = 0,25 \times 174 = 43,5$ N.

Substituindo esses valores na expressão para a aceleração, obtemos:

$$a = \frac{200 - 100 - 43,5}{20 + 20} \rightarrow a \approx 1,41 \text{ m/s}^2$$

b) Calcule o valor da força de tração no fio.

Podemos calcular a força de tração através da equação (I):

$$T = P_A - m_A \times g \rightarrow T = m_A \times (g - a) \rightarrow T = 20 \times (10 - 1,41) = 171,8 \text{ N}$$

2.3 Queda livre

O estudo dos movimentos de queda de corpos próximos à superfície da Terra sempre chamou a atenção. Ao abandonarmos um corpo (um tijolo, por exemplo), observamos que sua velocidade de queda aumenta com o passar do tempo, ou seja, seu movimento é acelerado. Em contrapartida, se o objeto for lançado para cima, sua velocidade decresce gradualmente até se anular no ponto mais alto da trajetória, sendo o movimento de subida retardado.

Durante quase dois mil anos acreditou-se que, ao serem abandonados dois corpos nas proximidades da Terra, aquele que possuísse a maior massa atingiria o solo mais rapidamente. Foi somente no século XVII que Galileu Galilei conseguiu uma explicação correta para o fenômeno. Essa explicação foi fruto de experimentos realizados por ele, e pode ser enunciada como:

Corpos de diferentes massas caem juntos e atingem o chão simultaneamente, desde que sejam abandonados de uma mesma altura.

Supostamente, Galileu teria lançado várias esferas de pesos diferentes do alto da Torre de Pisa, na Itália, para comprovar sua teoria. Ainda assim, muitos pensadores da época se recusaram a acreditar em suas ideias.

Em nossas experiências diárias, percebemos que, ao abandonarmos uma pena e uma pedra, por exemplo, a pedra cai mais rápido, em contraste com os resultados de Galileu. No entanto, essa diferença de velocidades de queda acontece porque o ar exerce uma força retardadora em qualquer objeto que se movimente através dele, sendo esse efeito mais evidente sobre a pena, que possui menor peso. Entretanto, se a pedra e a pena forem abandonadas em uma região de vácuo, elas cairão simultaneamente, conforme previsto por Galileu.

Assista a um vídeo sobre queda livre em: https://www.youtube.com/watch?v=FTT1CPGu4bA

A queda livre acontece quando a resistência sobre o movimento de queda dos corpos não existe ou pode ser desprezada, no vácuo ou no ar. Somente estudaremos tais situações.

2.3.1 A aceleração da gravidade

Como dito anteriormente, o movimento de queda livre é acelerado. Experimentalmente, Galileu constatou que essa aceleração é constante, sendo a queda livre um movimento uniformemente acelerado. Esta aceleração, denominada aceleração da gravidade, é representada pela letra g e tem o mesmo valor para todos os corpos, com valor aproximado de 9,8 m/s^2. Isso significa dizer que, quando um corpo está em queda livre, sua velocidade aumenta de 9,8 m/s a cada 1 segundo. Caso o corpo seja lançado verticalmente para cima, sua velocidade decresce 9,8 m/s a cada 1 s.

2.3.2 As equações da queda livre

Sendo a queda livre um movimento uniformemente acelerado, as equações aplicadas são as mesmas equações aplicadas ao estudo de movimentos retilíneos uniformemente acelerados, lembrando que a aceleração a, nas equações originais, deve ser substituída por g. Quando um corpo é lançado para baixo com velocidade inicial v_0, após cair um certo tempo t e percorrer uma distância d, são válidas as equações:

Equação 2.6

$$v = v_0 + g \times t$$

Equação 2.7

$$d = v_0 \times t + \frac{1}{2} \times g \times t^2$$

Equação 2.8

$$v^2 = v_0^2 + 2 \times g \times d$$

As equações acima podem também ser empregadas para o movimento de subida. Porém, nesse caso, o movimento será uniformemente retardado. No movimento de subida a aceleração g será negativa, pois o movimento será desacelerado. Em geral, a primeira e a segunda equação acima são chamadas de funções horárias do movimento.

2.3.3 Exemplo resolvido

Exemplo 2.3

Um grupo de alunos montou um foguete movido a água sob pressão. No lançamento, os estudantes obtiveram uma velocidade inicial v_0 = 60 m/s, vertical e para cima. Despreze a resistência do ar e considere g = 10 m/s^2.

a) Calcule a velocidade que o foguete terá 2 s após o lançamento.

Podemos calcular a velocidade de movimento retardado com a equação $v = v_0 - g \times t$. Portanto:

$$v = 60 - (10 \times 2) \rightarrow v = 40 \text{ m/s}$$

b) Calcule quanto tempo o foguete gasta para atingir o ponto mais alto da sua trajetória.

No ponto mais alto de sua trajetória, sua velocidade é nula ($v = 0$). Assim, a equação $v = v_0 - g \times t$ se reduz a:

$$0 = 60 - (10 \times t) \rightarrow t = 6 \text{ s}$$

c) Calcule a altura máxima atingida pelo foguete durante seu movimento.

Já foi calculado, no item anterior, que o tempo que o foguete gasta para atingir o topo da trajetória é de 6 s. Assim, podemos calcular a distância percorrida por ele com o auxílio da equação $d = v_0 \times t - (1/2) \times g \times t^2$.

$$d = 60 \times 6 - \frac{1}{2} \times 10 \times 6^2 \rightarrow d = 180 \text{ m}$$

d) Calcule a velocidade com que o foguete retorna ao ponto de lançamento.

Quando o foguete realiza o movimento de descida, ele parte do repouso do ponto mais alto da trajetória e percorre a mesma distância percorrida na subida. Dessa forma, podemos usar a equação $v^2 = v_0^2 + 2 \times g \times d$, com $v_0 = 0$ m/s e $d = 180$ m. Assim:

$$v^2 = 2 \times 10 \times 180 \rightarrow v = 60 \text{ m/s}$$

O foguete retorna ao ponto inicial com a mesma velocidade de lançamento!

e) Calcule o tempo que o foguete gasta para descer.

Este tempo pode ser calculado com o auxílio da equação $v = v_0 + g \times t$, fazendo $v_0 = 0$ m/s (o foguete parte do repouso do topo da trajetória) e $v = 60$ m/s, conforme obtido na questão anterior. Assim, a equação se reduz a:

$$60 = 10 \times t \rightarrow t = 6 \text{ s}$$

O tempo de subida é exatamente igual ao tempo de descida!

Se a resistência do ar não pudesse ser desconsiderada, o tempo de descida seria maior que o tempo de subida e o foguete retornaria ao ponto de lançamento com uma velocidade menor que a velocidade com a qual foi lançado.

Resumo

Nesta aula, vimos que, entre superfícies em contato, existe sempre uma força interativa. Essa força pode ser decomposta na direção do movimento, ou da tendência de movimento, sendo chamada de força de atrito. A força de atrito pode ser estática, quando há apenas a tendência de deslizamento entre as superfícies, ou dinâmica, quando as superfícies de fato se movimentam entre si. Além disso, a intensidade da força de atrito estático máximo é sempre menor que a intensidade da força de atrito dinâmico para as mesmas superfícies. Finalmente, na direção perpendicular ao movimento, a componente da força interativa é a força de reação normal.

Em muitas situações, o atrito é indesejado, e busca-se formas de diminuí-lo. Porém, sem o atrito, o mundo que conhecemos seria completamente diferente. Atividades simples como caminhar ou escrever com uma caneta esferográfica, por exemplo, seriam impossíveis.

Também aprendemos como a força peso se decompõe e como calcular suas componentes paralela e perpendicular à direção de movimento em um plano inclinado. Vimos que é mais fácil sustentar um corpo com o auxílio de um plano inclinado que sustentá-lo livremente.

Finalmente, estudamos e entendemos por que os corpos caem próximos à superfície de nosso planeta. Aprendemos as equações que governam esses movimentos e como aplicá-las em situações cotidianas.

Atividades de aprendizagem

1. (Unicamp - SP) Um carro de massa igual a 800 kg, movendo-se a 30 m/s, freia bruscamente e para em 5 s.

a) Calcule a aceleração do carro.

b) Calcule o valor médio da força de atrito que atua sobre o carro durante a frenagem.

2. (UFOP - MG) Uma força horizontal de 50 N atua sobre um bloco de massa igual a 10 kg, que se encontra sobre um plano horizontal. A aceleração resultante sobre o bloco vale 2,5 m/s^2. Considere g = 10 m/s^2. Calcule quanto vale o coeficiente de atrito dinâmico μ_d entre o bloco e o plano.

3. Na Figura 2.3, considere o peso do bloco A igual a 200 N e o peso do bloco B igual a 40 N. Considerando uma situação em que os blocos estejam em repouso, calcule o coeficiente de atrito estático entre o bloco A e o piso.

4. Considere os blocos A e B, de massas 20 kg e 10 kg, respectivamente. Sobre o bloco B, age uma força horizontal para a direita de 100 N. Considere o coeficiente de atrito dinâmico μ_d entre os blocos e o plano horizontal igual a 0,20.

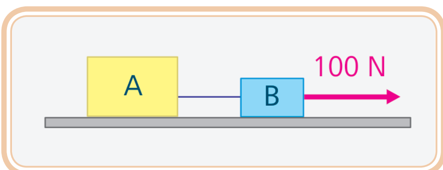

Figura 2.6: Dois corpos ligados por um fio ideal sobre um apoio horizontal, sendo puxados por uma força de módulo igual a 100 N
Fonte: CTISM, adaptado do autor

a) Calcule a aceleração do sistema.

b) Calcule a força de tração no fio.

5. O coeficiente de atrito estático entre a parede e o bloco da Figura 2.7 vale 0,25. O bloco pesa 100 N. Considere g = 10 m/s^2.

a) Calcule o valor mínimo da força F necessário para que o bloco permaneça em repouso.

b) Considere que o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e a parede seja 0,10. Calcule o módulo da força F para que o bloco escorregue parede abaixo com uma aceleração de 4 m/s^2.

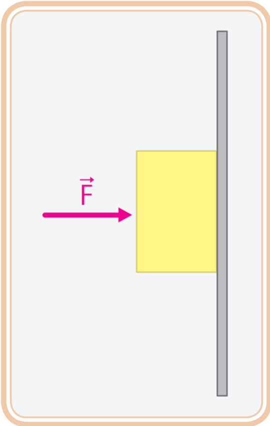

Figura 2.7: Um corpo pressionado contra a parede e sustentado pela força de atrito
Fonte: CTISM, adaptado do autor

6. Considere o sistema mostrado na Figura 2.8. A massa de cada bloco é de 2 kg e o coeficiente de atrito dinâmico entre o bloco A e o plano horizontal vale 0,2. Uma força de intensidade igual 36 N age no bloco A, horizontalmente para a esquerda. Use g = 10 m/s^2.

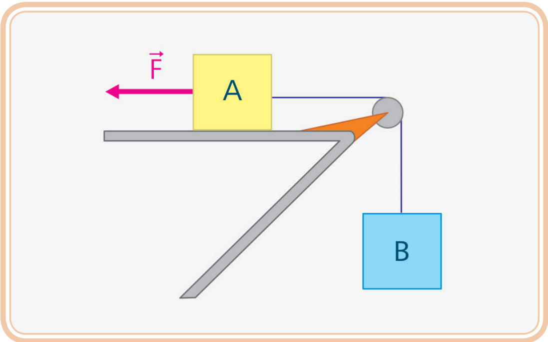

Figura 2.8: Dois corpos ligados através de um fio e uma polia ideais
Fonte: CTISM, adaptado de http://www.cefetsp.br/edu/okamura

a) Calcule a aceleração do sistema.

b) Calcule a força de tração no fio.

7. No plano inclinado da Figura 2.9, o bloco A pesa 50 N e o bloco B pesa 10 N. Quando abandonados, o bloco A desce o plano. Sabendo que o coeficiente de atrito cinético entre o bloco A e o plano vale 0,2, calcule o valor da tensão no fio e da aceleração do sistema. Considere g = 10 m/s^2, sen(30º) = 0,5 e cos(30º) = 0,87.

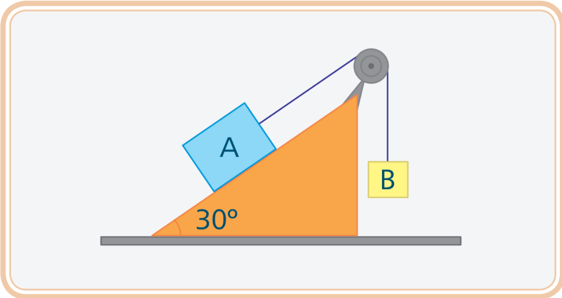

Figura 2.9: Dois corpos ligados através de um fio ideal e uma polia em um plano inclinado
Fonte: CTISM, adaptado de http://www.fisicalivre.com.br

8. No sistema representado abaixo, $m_A = m_B = 5$ kg. As massas da polia e do fio inextensível são desprezíveis. Não há atrito entre o bloco A e o plano inclinado. Considere $g = 10$ m/s^2, sen(37º) = 0,6 e cos(37º) = 0,8.

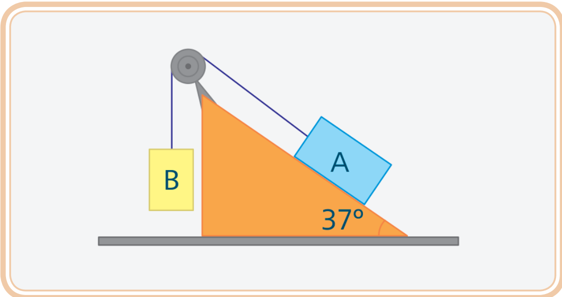

Figura 2.10: Dois corpos ligados através de um fio ideal e uma polia em um plano inclinado
Fonte: CTISM, adaptado do autor

a) Determine, através de cálculos, se o corpo B sobe ou desce.

b) Calcule a aceleração do sistema.

c) Calcule a força de tração no fio que liga os dois blocos.

9. Uma caixa de massa 2 kg está sobre o plano mostrado na Figura 2.11. Considere $g = 10$ m/s^2, sen(30º) = 0,5 e cos(30º) = 0,87.

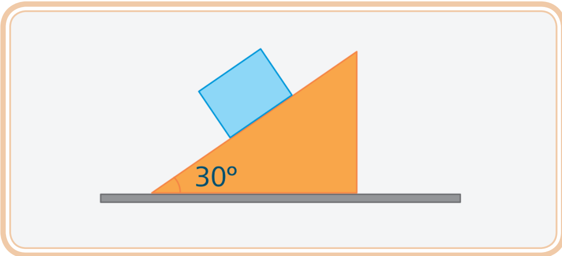

Figura 2.11: Um corpo apoiado em um plano inclinado
Fonte: CTISM, adaptado do autor

a) Considerando desprezível o atrito, calcule a aceleração com que a caixa desce o plano inclinado.

b) Supondo, agora, que exista atrito, calcule o coeficiente de atrito estático mínimo necessário para que a caixa não escorregue.

10. Considere, novamente, a Figura 2.11, da questão 9. Supondo que o bloco se encontre em repouso sobre o plano inclinado, qual das alternativas abaixo está correta? Além de identificar a alternativa correta, corrija o erro de cada afirmação falsa.

a) A intensidade da força de atrito é igual à intensidade da força peso do bloco.

b) Não existe força de atrito atuando sobre o bloco.

c) A força de atrito se manifesta somente quando o bloco se desloca.

d) A força de atrito estático máxima aumenta à medida que o ângulo de inclinação do plano diminui.

e) A intensidade da força de atrito é maior que a intensidade do peso do bloco.

11. A Figura 2.12 diz respeito a uma tarefa em que o bloco B, de peso igual a 100 N, deverá descer pelo plano inclinado com velocidade constante ($a = 0\ m/s^2$). O peso do bloco A é 10 N. Considere que o fio e a polia são ideais, sen (α) = 0,6 e cos (α) = 0,8. Calcule o coeficiente de atrito cinético entre o plano inclinado e o bloco B.

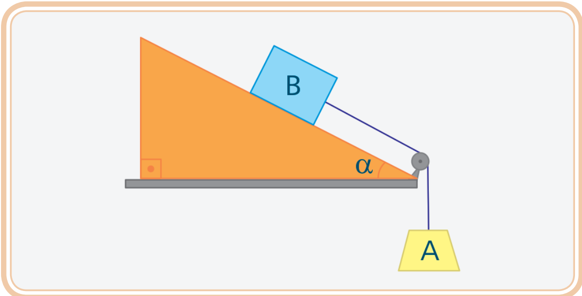

Figura 2.12: Dois corpos ligados através de um fio ideal e uma polia em um plano inclinado
Fonte: CTISM, adaptado do autor

12. (Fuvest) O sistema indicado na Figura 2.13, em que as polias são ideais, permanece em repouso graças à força de atrito entre o corpo de 10 kg e a superfície de apoio. Calcule o valor da força de atrito.

a) 20 N para a esquerda.

b) 10 N para a direita.

c) 100 N para a esquerda.

d) 60 N para a direita.

e) A força de atrito é nula, pois o sistema está em repouso.

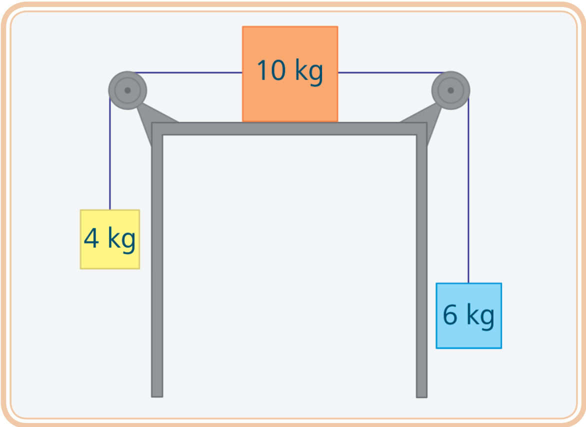

Figura 2.13: Três corpos ligados através de um fio ideal e duas polias
Fonte: CTISM, adaptado do autor

13. Um corpo é abandonado do alto de um edifício e gasta 3 s para chegar ao chão. Desconsidere a resistência do ar e adote $g = 10\ m/s^2$.

a) Calcule a altura do edifício.

b) Calcule a velocidade com que o corpo atinge o solo.

14. Um corpo é lançado verticalmente para cima, atingindo a altura máxima de 5 m. Considere $g = 10\ m/s^2$ e desconsidere a resistência do ar.

a) Calcule a velocidade de lançamento.

b) Calcule o tempo de subida.

15. Do alto de um edifício, deixa-se cair acidentalmente um aparelho celular, que leva 4 segundos para atingir o solo. Desprezando-se a resistência do ar e considerando $g = 10\ m/s^2$, calcule a velocidade do telefone ao atingir o solo.

16. Uma pedra é lançada do solo, verticalmente para cima, com velocidade de 18 m/s. Desconsidere a resistência do ar e adote $g = 10\ m/s^2$.

a) Determine as funções horárias do movimento.

b) Calcule o tempo total de subida.

c) Calcule a altura máxima atingida pela pedra.

d) Em t = 1,0 s, calcule a distância percorrida pela pedra.

e) Calcule o instante t e a velocidade escalar com que a pedra atinge o solo.

17. Uma bola de tênis é arremessada verticalmente para cima, a partir do chão, com uma velocidade de 20 m/s. Calcule o tempo que a bola gastará para retornar à posição inicial.

18. (PUC - MG) Dois corpos de massa m_1 e m_2, sendo $m_1 < m_2$, são abandonados de uma mesma altura. É correto afirmar que:

a) Se os corpos forem abandonados no vácuo, m_1 chegará ao solo antes de m_2.

b) Se os corpos forem abandonados no vácuo, eles chegarão juntos ao solo.

c) Se os corpos forem abandonados no vácuo, m_2 chegará ao solo antes de m_1.

d) Não importa onde são abandonados (no vácuo ou no ar), eles chegarão juntos.

e) Se os corpos forem abandonados juntos no ar, eles chegarão juntos ao solo.

19. (UEM - PR) Duas bolas idênticas são lançadas, simultaneamente, do alto de um edifício, com a mesma velocidade: uma verticalmente para cima e a outra verticalmente para baixo. Desprezando-se a resistência do ar, é correto afirmar que as duas bolas:

(01) Chegam juntas ao solo.

(02) Sofrem o mesmo deslocamento até o solo.

(04) Possuem a mesma velocidade quando atingem o solo.

(08) Possuem a mesma aceleração quando atingem o solo.

(16) Estão sujeitas à mesma força, durante o tempo em que estão no ar.

Dê sua resposta como a soma dos valores entre parênteses das alternativas corretas.

20. Abandona-se um corpo a 80 metros acima da superfície da Terra, em um local em que a aceleração da gravidade vale $g = 10$ m/s^2.

Despreze a resistência do ar.

a) Calcule o tempo que o corpo gasta até atingir o solo.

b) Calcule a velocidade com que o corpo atinge o solo.

c) Calcule a altura do corpo 2 segundos após ter sido abandonado.

d) Repita os cálculos dos itens (a), (b) e (c), supondo que, ao invés de ser abandonado do alto do prédio, o corpo seja arremessado para baixo com velocidade igual a 1 m/s.

Aula 3 – Equilíbrio de corpos extensos e alavancas

Objetivos

Compreender o equilíbrio de rotação de corpos longos.

Entender o mecanismo de funcionamento de alavancas.

Aplicar os conceitos aprendidos para a resolução de problemas do cotidiano.

3.1 Considerações iniciais

Até aqui, em todos os casos estudados, os corpos envolvidos puderam ser tratados como partículas ou pontos materiais. Para tais corpos, a primeira lei de Newton assegura que, se a resultante das forças que agem sobre eles for nula, os corpos estarão em equilíbrio (em repouso ou em movimento retilíneo uniforme). Esse é o chamado equilíbrio translacional.

No entanto, quando os corpos estudados possuem grandes dimensões e não podem ser tratados como partículas, existe uma segunda condição a ser satisfeita para que o corpo esteja em equilíbrio. Além do equilíbrio translacional, deve ser satisfeita a condição de equilíbrio rotacional.

Nessa aula, será estudado o equilíbrio de corpos extensos rígidos que não podem ser considerados partículas e não sofrem deformação sob a ação de uma força externa. Exemplos desses tipos de corpos são uma barra de ferro, um pedaço de madeira, uma chave de rodas, entre vários outros.

3.2 Momento ou torque de uma força

Na Figura 3.1(a), é mostrado um corpo sujeito à ação de duas forças. A condição de equilíbrio translacional é obedecida, uma vez que as forças de módulo F agem na mesma direção (vertical), porém em sentidos contrários. Nesse caso, a força resultante agindo sobre o corpo é nula e sua aceleração é zero. No entanto, pode-se perceber que o efeito combinado das duas forças é de girar o objeto no sentido anti-horário. Dessa forma, a condição de equilíbrio rotacional não é satisfeita.

Já a Figura 3.1(b) é uma representação esquemática de um corpo rígido que pode girar ao redor de um eixo que passa pelo ponto O, perpendicular ao plano da figura. Sob a ação da força de módulo F aplicada, o corpo gira no sentido anti-horário ao redor do eixo. Quanto mais intensa for a força aplicada, maior é a velocidade de rotação com que o corpo gira. Além disso, quanto maior for a distância perpendicular d entre o eixo de rotação e a linha de aplicação da força, mais facilmente o corpo será girado sob a ação da mesma força.

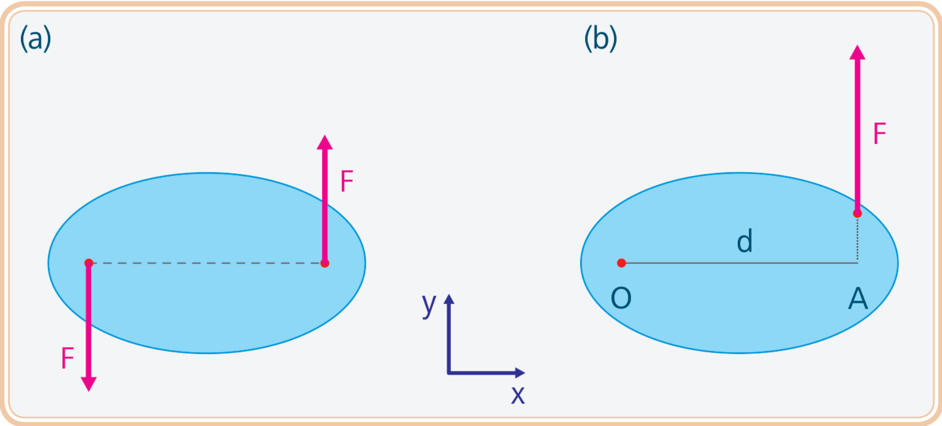

Figura 3.1: Forças sendo aplicadas a pontos diferentes de um corpo extenso, tendendo a girá-lo no sentido anti-horário (a) e a força F aplica um momento de módulo M sobre o corpo em relação ao eixo fixo que passa pelo ponto O (b)
Fonte: CTISM, adaptado do autor

O efeito de rotação que uma força pode causar é medido pelo seu momento ou torque. Com relação a um eixo fixo qualquer, o momento ou torque de uma força F é dado por:

Equação 3.1

$$M = F \times d$$

Onde: F é o módulo da força
d é a distância perpendicular entre o eixo fixo e a linha de atuação da força

Assista a um vídeo sobre momento de uma força em: https://www.youtube.com/watch?v=YEt7B6Dxiko

A unidade de medida do momento é dada por uma unidade de força multiplicada por uma unidade de distância. No Sistema Internacional de Unidades (SI), o momento é expresso em N × m.

Em geral, é atribuído um sinal ao momento de uma força, dependendo do sentido em que esta tende a girar o corpo. Será usada a seguinte convenção: se a força aplicada tender a girar o corpo no sentido horário, um sinal negativo é atribuído ao momento da força; caso a força aplicada tenda a girar o corpo no sentido anti-horário, o sinal do momento da força será positivo.

Mesmo intuitivamente, o conceito de torque é usado frequentemente em nosso cotidiano. Por exemplo, ao apertar ou afrouxar os parafusos das rodas de um carro, usamos uma chave de rodas de braço mais comprido. Isso faz com que o ponto de aplicação da força fique mais afastado do eixo de rotação dos parafusos, potencializando o torque sobre eles e facilitando o trabalho.

Outro exemplo que pode ser considerado é o ato de uma pessoa abrir ou fechar uma porta. Se a pessoa exercer a força próximo às extremidades e, portanto, longe das dobradiças por onde passa o eixo de rotação, notará que será muito mais fácil movimentá-la. No entanto, se a pessoa aplicar a mesma força, porém em um ponto próximo às dobradiças, perceberá que será bem mais difícil girar a porta, uma vez que a distância do ponto de aplicação da força até as dobradiças será pequena, sendo pequeno, assim, o torque aplicado à porta. É por esse motivo que as maçanetas são instaladas nas extremidades das portas, o mais afastado possível das dobradiças.

3.3 Equilíbrio de rotação

A Figura 3.2 ilustra o equilíbrio de rotação sendo aplicado a uma porta (vista de cima) que pode girar ao redor do ponto O, em sua extremidade esquerda. Se apenas a força $\mathbf{F_1}$ fosse aplicada à porta, esta daria origem a um torque negativo, que giraria a porta no sentido horário.

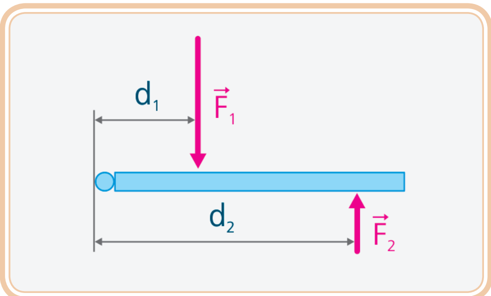

Figura 3.2: Torques de mesmo módulo e sentidos contrários sendo aplicados a uma porta (vista de cima), garantindo a ela o equilíbrio de rotação
Fonte: CTISM, adaptado do autor

Para equilibrar a ação da força $\mathbf{F_1}$, uma segunda força $\mathbf{F_2}$ deve ser aplicada. A ação da força $\mathbf{F_2}$ imprime à porta um torque que tende a girá-la no sentido anti-horário (torque positivo), de modo a evitar a rotação do corpo. Note que as intensidades das forças são diferentes. Entretanto, geram torques de mesmo valor, pois são aplicadas a diferentes distâncias do ponto fixo O. Matematicamente:

$$F_2 \times d_2 = F_1 \times d_1$$

Ou seja, o momento total é nulo e a porta não gira.

Podemos generalizar esse resultado para a ação de n forças sobre um corpo rígido. Assim, o equilíbrio de rotação exige que:

Equação 3.2

$$\sum M = 0$$

Ou seja, se a soma dos momentos de todas as forças que tendem a girar um corpo no sentido horário for exatamente igual à soma dos momentos de todas as forças que tendem a girá-lo no sentido anti-horário, o momento resultante sobre o corpo é nulo e ele não gira. Essa é a condição de equilíbrio de rotação.

Todas as forças que agem sobre um corpo rígido devem ser levadas em consideração para a garantia do equilíbrio de rotação. No exemplo da Figura 3.2, apenas duas forças estão envolvidas. No entanto, se trinta forças atuassem sobre a porta, por exemplo, os torques gerados pelas trinta forças deveriam se anular mutuamente.

Finalmente, podemos reunir as condições de equilíbrio para um corpo extenso, como:

Equação 3.3

$$\sum F = 0$$

$$\sum M = 0$$

3.4 Centro de gravidade

O peso de um corpo é resultado da força de atração que a Terra exerce sobre ele. Para uma partícula, essa força é representada sobre a própria partícula. No entanto, um corpo extenso é formado por muitas partículas agrupadas. Assim, a Terra atrai cada uma das partículas que o constituem. O seu peso **P** é, então, a resultante de todas essas forças de atração. A resultante das forças de atração que a Terra exerce sobre todas as partículas do corpo se localiza em um ponto chamado de centro de gravidade do corpo.

Para corpos homogêneos e de forma geométrica simétrica, o centro de gravidade coincide com o centro de simetria. A Figura 3.3 mostra os centros de gravidade de alguns desses corpos.

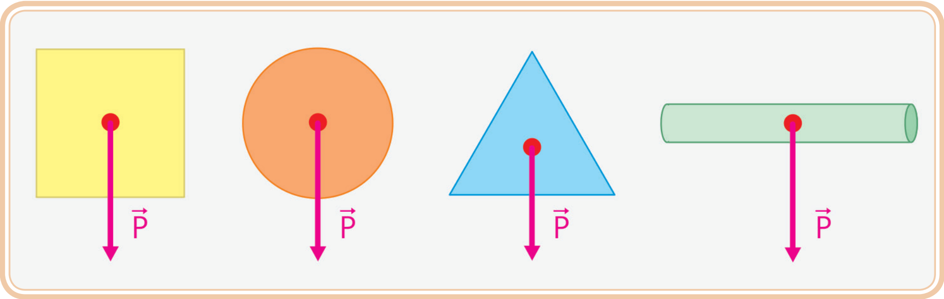

Figura 3.3: Centros de gravidade de corpos simétricos e homogêneos
Fonte: CTISM, adaptado do autor

Pode-se garantir o equilíbrio de rotação e de translação a um corpo ao suspendê-lo pelo seu centro de gravidade. Nesse caso, deve-se aplicar uma força de mesmo módulo, de sentido contrário e na mesma linha de ação de seu peso, ou seja, sobre o centro de gravidade, conforme mostra a Figura 3.4(a). O mesmo acontece com os corpos assimétricos, nos quais o centro de gravidade se localiza mais próximo da parte mais pesada do corpo, como mostrado pela Figura 3.4(b).

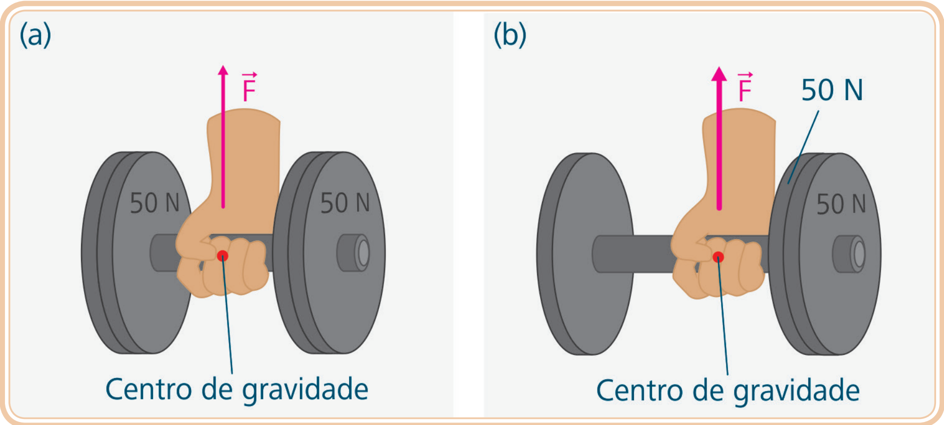

Figura 3.4: Corpos equilibrados ao serem suspensos pelos seus centros de gravidade. A força aplicada é igual e contrária ao peso de cada um dos corpos
Fonte: CTISM, adaptado de Máximo; Alvarenga, 2010

3.4.1 Exemplo resolvido

Exemplo 3.1

Na Figura 3.5, AB é uma barra rígida, com distribuição homogênea de massa, peso P_B e apoiada no ponto fixo O. A esfera pendurada na extremidade A da barra pesa 20 N. Sabendo que o fio que sustenta a esfera tem peso desprezível e que o sistema está em equilíbrio, calcule o peso da barra.

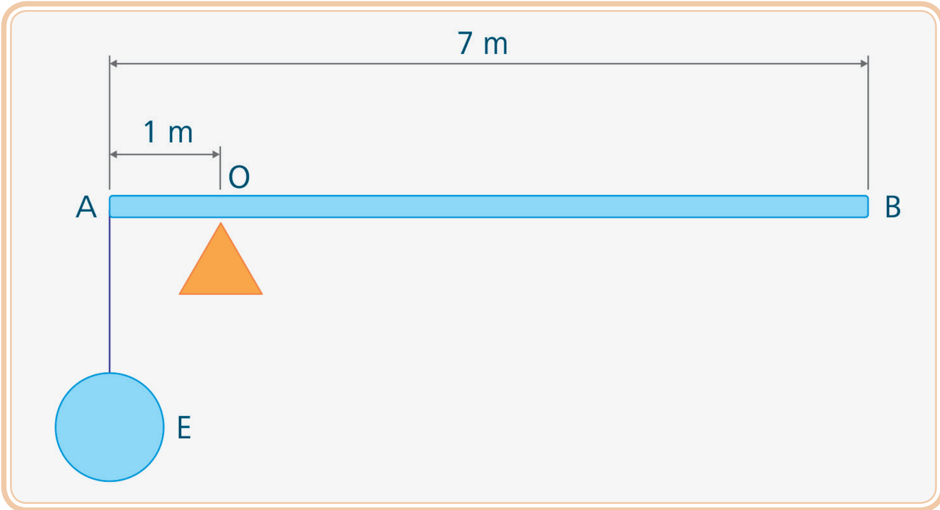

Figura 3.5: Barra equilibrada pelo seu próprio peso e pelo peso de uma esfera pendurada em uma de suas extremidades
Fonte: CTISM, adaptado do autor

Para calcular o peso da barra, podemos usar a condição de equilíbrio de rotação. Estando o sistema em equilíbrio, sabemos que o módulo do torque que tende a girá-la no sentido horário, em relação ao ponto de apoio, é exatamente igual ao módulo do torque que tende a girá-la no sentido anti-horário.

O torque que tende a girar a barra no sentido horário é gerado pelo seu próprio peso $\mathbf{P_B}$. Como a barra é homogênea, seu peso age exatamente no seu centro de gravidade, a 3,5 metros de cada extremidade e, consequentemente, a 2,5 metros do ponto de apoio O. O sinal do torque exercido pelo peso da barra é negativo, conforme a convenção de sinais introduzida anteriormente. Já o torque que tende a girá-la no sentido anti-horário (torque de sinal positivo) é criado pelo peso $\mathbf{P_E}$ da esfera, de intensidade 20 N.

Aplicando a condição de equilíbrio, sabemos que a soma de todos os torques aplicados à barra é nula. Assim:

$$\sum M = 0 \rightarrow P_E \times 1 - P_B \times 2{,}5 = 0 \rightarrow 2{,}5 \times P_B = P_E \rightarrow P_B = 8\ \text{N}$$

Assim, o peso da barra é igual a 8 N. Como na condição de equilíbrio o peso da barra é aplicado a uma distância 2,5 vezes maior que a distância de aplicação do peso da esfera, em relação ao ponto fixo O, $P_B = P_E/2{,}5$.

3.5 Alavancas

Máquinas simples são aparelhos que, em geral, permitem-nos multiplicar ou mudar a direção de forças aplicadas, com o intuito de realizar alguma tarefa. Com elas, é possível equilibrar uma força intensa por meio da aplicação de uma força de menor intensidade, por exemplo. Em geral, as máquinas simples fazem partes de outras mais complexas, como por exemplo, máquinas de costuras, engrenagens, bicicletas, motores, etc. A denominação deve-se ao fato de serem constituídas por uma única peça.

As alavancas são máquinas simples constituídas, basicamente, de uma barra rígida apoiada em um ponto fixo. A Figura 3.6(a) apresenta um exemplo de alavanca sendo usada para que uma pessoa consiga elevar um objeto de peso muito maior do que a força que seus músculos são capazes de exercer.

Assista a um vídeo sobre alavancas em:
https://www.youtube.com/watch?v=9XeCozh622s

https://www.youtube.com/watch?v=QvcQ7A_JWn8&feature=relmfu

O peso da carga é a força a ser vencida, sendo chamada de força resistente, $\mathbf{F_R}$. A força exercida na outra extremidade da alavanca para erguer a carga é chamada de força potente, $\mathbf{F_P}$, conforme mostra a Figura 3.6(b).

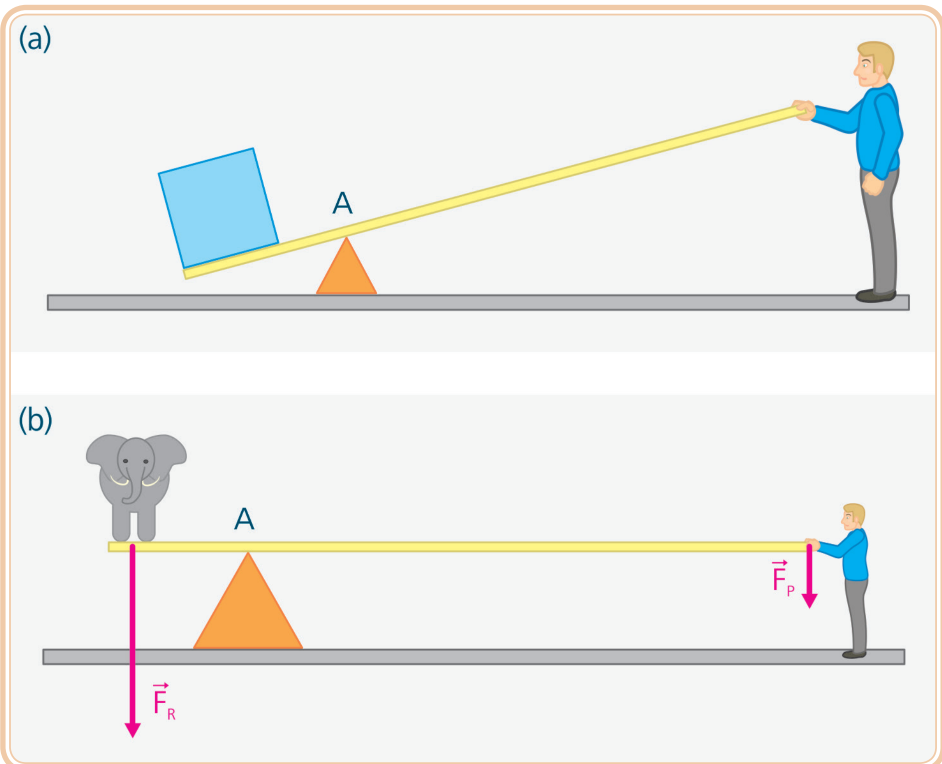

Figura 3.6: Representação esquemática de uma alavanca (a) e nesta alavanca, a força potente F_P, que é exercida pelo homem, tem uma intensidade menor que a força resistente F_R, que é o peso do elefante (b)
Fonte: CTISM, adaptado de Torres et al., 2010

3.6 Equilíbrio de alavancas

A Figura 3.7 mostra as forças que agem em uma alavanca. A força de reação normal exercida pelo apoio na alavanca é $\mathbf{F_N}$, enquanto as forças resistente e potente são $\mathbf{F_R}$ e $\mathbf{F_P}$, respectivamente. A distância b_R entre o ponto de apoio A e o ponto de aplicação da força resistente $\mathbf{F_R}$ é chamada de braço da força resistente, sendo a distância b_P entre o apoio A e o ponto de aplicação da força potente $\mathbf{F_P}$ chamada de braço da força potente.

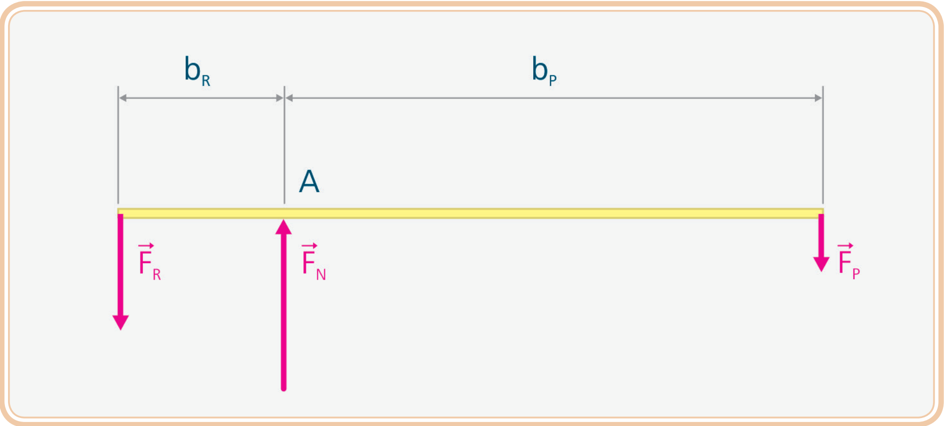

Figura 3.7: Representação de forças agindo sobre uma alavanca em equilíbrio
Fonte: CTISM, adaptado do autor

Para garantir o equilíbrio de uma alavanca, que é um corpo extenso, duas condições devem ser satisfeitas: equilíbrio de rotação e equilíbrio de translação.

O equilíbrio de rotação exige que o torque ou momento das forças que tendem a girar a alavanca no sentido horário, em torno do ponto de apoio A, anule o torque das forças que tendem a girá-la no sentido anti-horário. Em módulo, essa condição pode ser expressa como:

Equação 3.4

$$F_P \times b_P = F_R \times b_R$$

Já o equilíbrio de translação exige que a resultante das forças que atuam na alavanca seja nula. Em módulo:

Equação 3.5

$$F_N = F_R + F_P$$

Se mais forças agirem sobre a alavanca, sejam elas na forma de força potente, força resistente ou força de reação normal, elas devem ser levadas em consideração para a solução das Equações 3.4 e 3.5.

3.6.1 Exemplo resolvido

Exemplo 3.2

Na alavanca mostrada na Figura 3.8, o peso da pessoa sentada na gangorra, que é a força resistente, vale 600 N. A alavanca está em equilíbrio e seu peso pode ser desprezado.

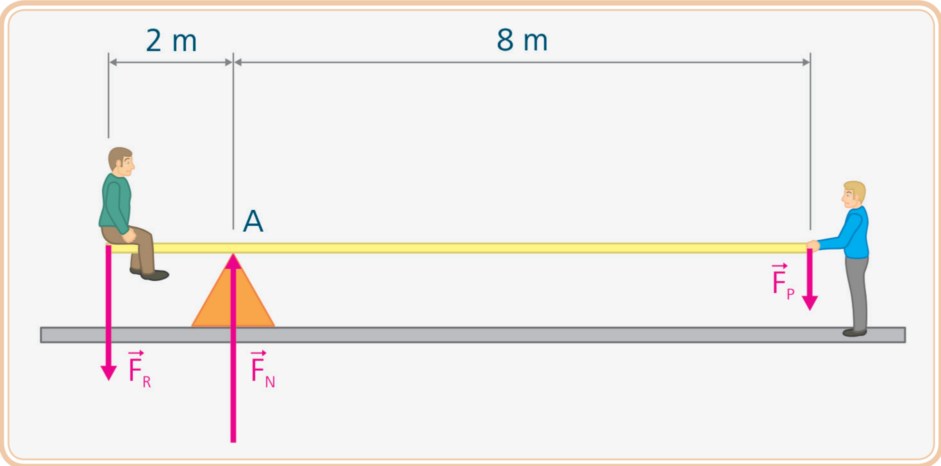

Figura 3.8: Gangorra em equilíbrio
Fonte: CTISM, adaptado de Torres et al., 2010

a) Calcule a intensidade da força potente.

Os braços das forças potente b_P e resistente b_R valem, respectivamente, 8 m e 2 m. Usando a condição de equilíbrio de rotação imposta pela Equação 3.2, temos:

$$F_P \times b_P = F_R \times b_R \rightarrow 8 \times F_P = 1200 \rightarrow F_P = 150 \text{ N}$$

Uma força de intensidade igual a 150 N conseguiu equilibrar uma força quatro vezes maior, de 600 N. Essa é uma das utilidades das máquinas simples, reduzir a intensidade da força necessária para se estabelecer o equilíbrio.

b) Calcule a intensidade da força normal que o apoio exerce na gangorra.

Aplicando o equilíbrio de translação imposto pela Equação 3.3, temos:

$$F_N = F_R + F_P \rightarrow F_N = 600 + 150 \rightarrow F_N = 750 \text{ N}$$

3.7 Tipos de alavancas

Com relação à posição relativa entre os pontos de aplicação das forças potente e resistente e também do ponto de apoio A, são definidos três tipos de alavancas.

3.7.1 Alavanca interfixa

Em uma alavanca interfixa, o ponto de apoio A é localizado entre o ponto de aplicação da força potente e o ponto de aplicação da força resistente. A Figura 3.9 mostra um esquema de uma alavanca interfixa na Figura 3.9(a), enquanto na Figura 3.9(b) são mostrados quatro exemplos deste tipo de alavanca. O alicate e a tesoura mostrados na Figura 3.9(b) são constituídos de duas alavancas simples, compondo, assim, uma alavanca dupla.

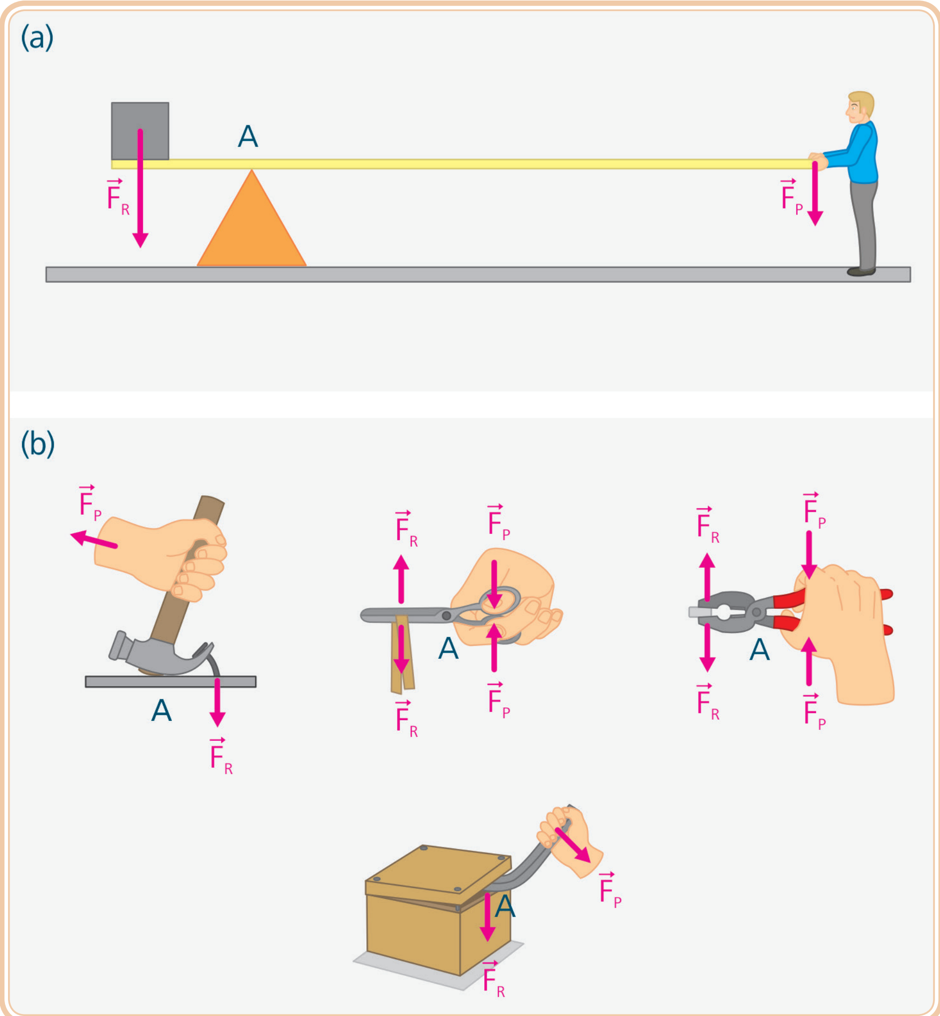

Figura 3.9: Representação de uma alavanca interfixa (a) e exemplos de alavancas interfixas: martelo, tesoura, alicate e pé de cabra (b)
Fonte: CTISM, adaptado de Torres et al., 2010

3.7.2 Alavanca inter-resistente

Nesse tipo de alavanca, o ponto de aplicação da força resistente fica entre o ponto de aplicação da força potente e o ponto de apoio A. A Figura 3.10(a) mostra, esquematicamente, uma alavanca inter-resistente. Já na Figura 3.10(b), são mostrados três exemplos deste tipo de alavanca. O quebra-nozes também é uma alavanca dupla.

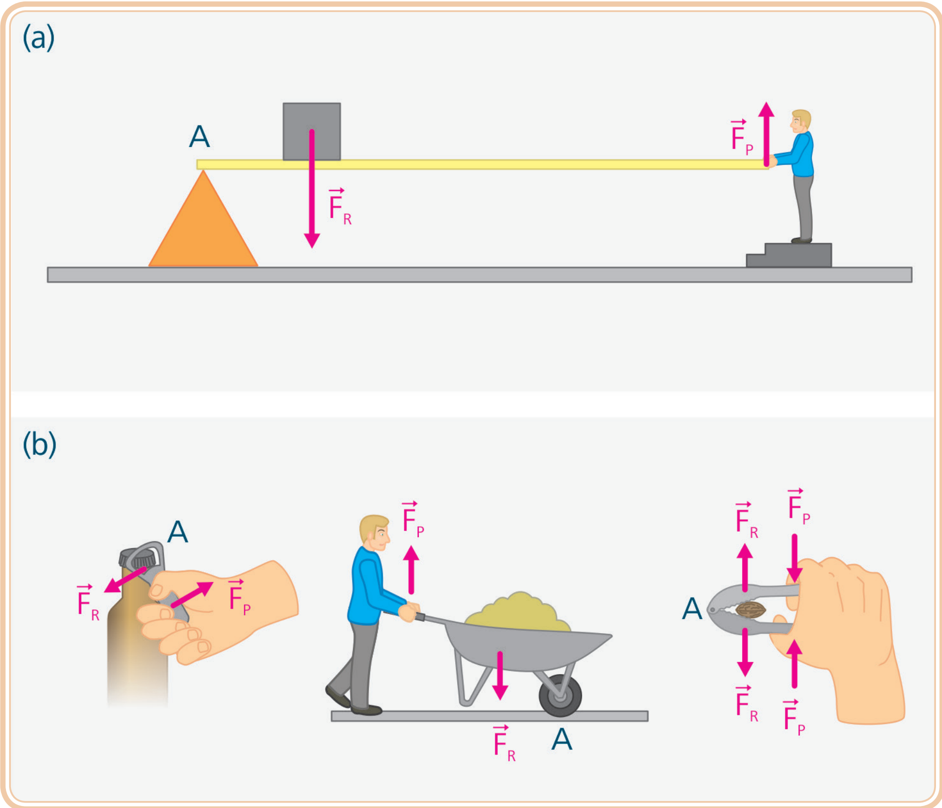

Figura 3.10: Representação de uma alavanca inter-resistente (a) e exemplos de alavancas inter-resistentes: abridor de garrafas, carrinho de mão e quebra-nozes (b)
Fonte: CTISM, adaptado de Torres et al., 2010

3.7.3 Alavanca interpotente

Por fim, uma alavanca do tipo interpotente é aquela em que o ponto de aplicação da força potente fica entre o ponto de aplicação da força resistente e o ponto de apoio, conforme mostrado na Figura 3.11(a). Na Figura 3.11(b), são mostrados três tipos de alavancas do tipo interpotente, sendo o pegador de gelo uma alavanca dupla.

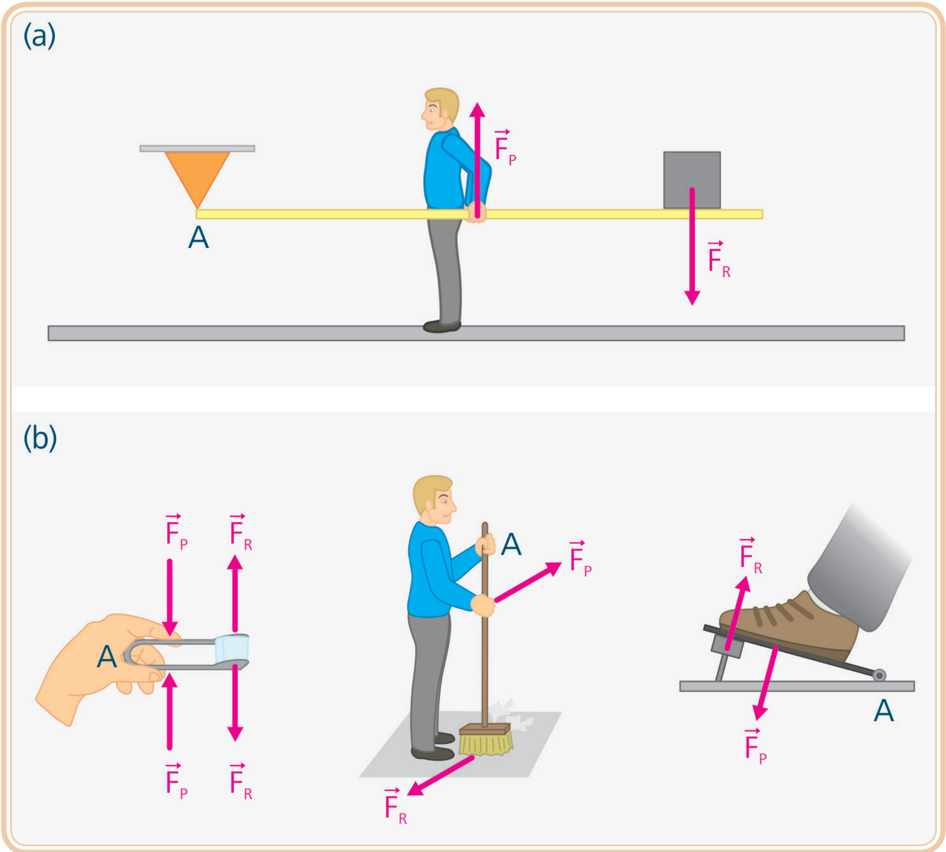

Figura 3.11: Representação de uma alavanca interpotente (a) e exemplos de alavancas interpotentes: pegador de gelo, vassoura e acelerador de automóvel (b)
Fonte: CTISM, adaptado de Torres et al., 2010

3.8 Vantagem mecânica de uma máquina simples

Costuma-se definir, para uma máquina simples, uma grandeza chamada vantagem mecânica V_M. Tal grandeza é expressa como a razão entre as intensidades das forças resistente e potente, segundo a equação:

Equação 3.6

$$V_M = \frac{F_R}{F_P}$$

Quanto maior a vantagem mecânica de uma máquina simples, maior sua eficiência.

Resumo

Ao longo dessa aula, aprendemos um novo conceito físico, o momento ou torque de uma força. Esse conceito é essencial para a compreensão da condição de equilíbrio de corpos extensos.

Para garantir o equilíbrio desse tipo de corpo, as condições de equilíbrio de rotação e de translação, expressas pelas Equações 3.2 e 3.3, devem ser respeitadas.

Com o auxílio dessas condições e também com o conceito de centro de gravidade, compreendemos como funcionam as condições de equilíbrio para as alavancas, que são máquinas simples muito úteis para multiplicar o efeito de uma força aplicada. Além disso, conhecemos três tipos de alavancas: alavanca interfixa, alavanca inter-resistente e alavanca interpotente.

Por fim, vimos como calcular a vantagem mecânica de uma máquina simples, através da razão entre a força resistente e a força potente, expressa pela Equação 3.6. Quanto maior for a força resistente em relação à força potente, maior será sua vantagem mecânica.

Atividades de aprendizagem

1. Uma pessoa pretende usar uma alavanca para erguer uma caixa exercendo o menor esforço físico possível. Frente a esta situação, são apresentadas três opções, em que a posição do apoio A é mudada. Baseado no que você aprendeu sobre alavancas, qual das três opções a pessoa deve escolher para atingir seu objetivo? Justifique sua resposta.

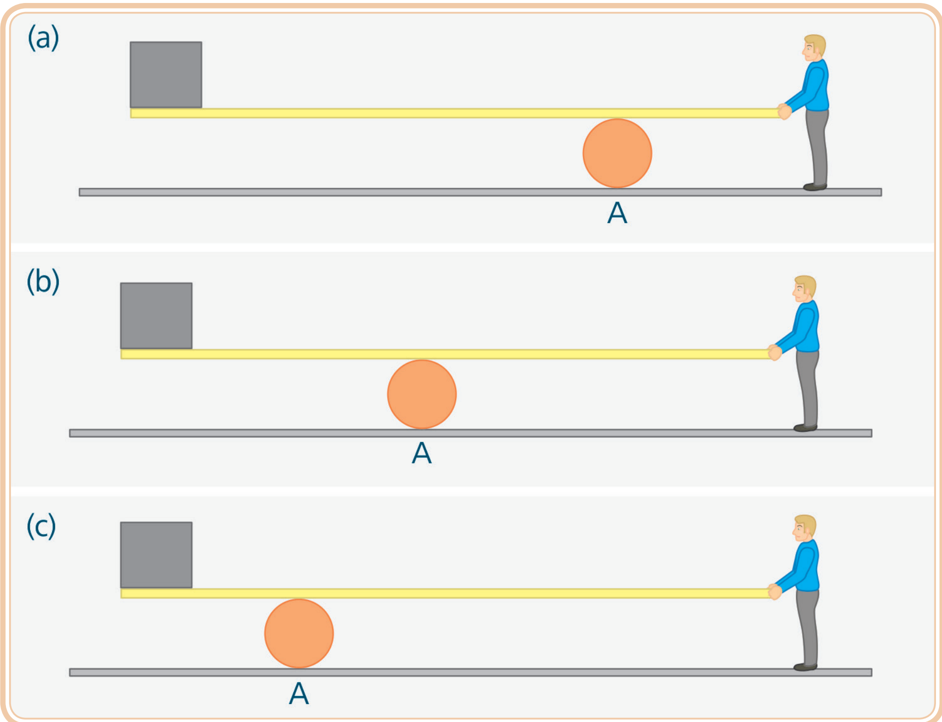

Figura 3.12: Alavanca interfixa sendo usada para erguer uma caixa
Fonte: CTISM, adaptado de http://www.fisicalivre.com.br

2. Calcule quanto deve pesar a esfera mostrada na Figura 3.13 para que a barra homogênea fique em equilíbrio.

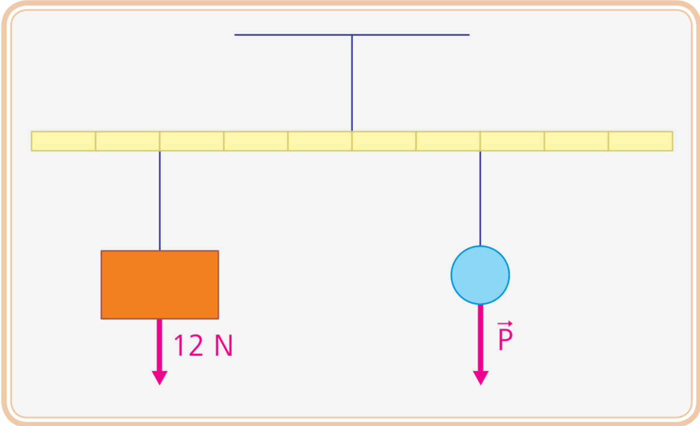

Figura 3.13: Barra homogênea em equilíbrio
Fonte: CTISM, adaptado do autor

3. Uma caixa de peso igual a 20 N deve ser pendurada em um dos ganchos da Figura 3.14, numerados de 1 a 17, de forma que a alavanca homogênea fique em equilíbrio na posição horizontal. Determine, por meio de cálculos, em qual dos ganchos a caixa deverá ser pendurada. Além disso, sabendo que a alavanca pesa 20 N, calcule a força de tração no fio que sustenta todo o sistema.

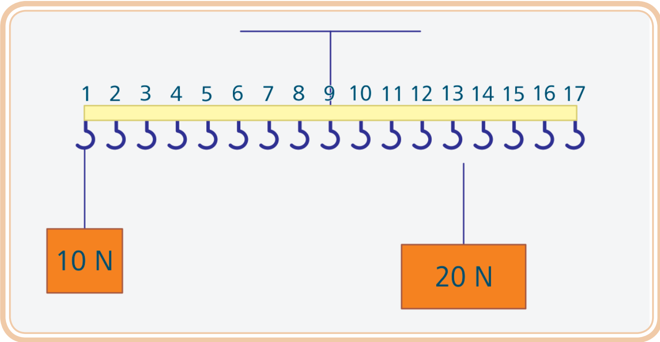

Figura 3.14: Barra homogênea com ganchos
Fonte: CTISM, adaptado do autor

4. Sabendo que as alavancas mostradas na Figura 3.15 possuem pesos desprezíveis, determine, através de cálculos, qual delas está em equilíbrio.

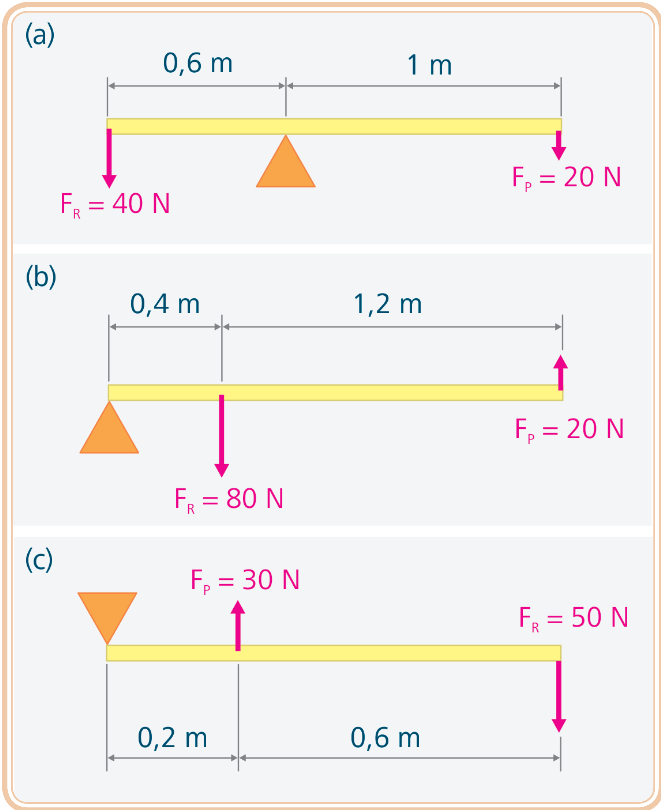

Figura 3.15: Alavancas sujeitas a diferentes forças
Fonte: CTISM, adaptado do autor

5. Considere a alavanca de peso desprezível mostrada na Figura 3.16. Sabendo que o sistema se encontra em equilíbrio, calcule:

a) A intensidade da força potente.

b) A vantagem mecânica.

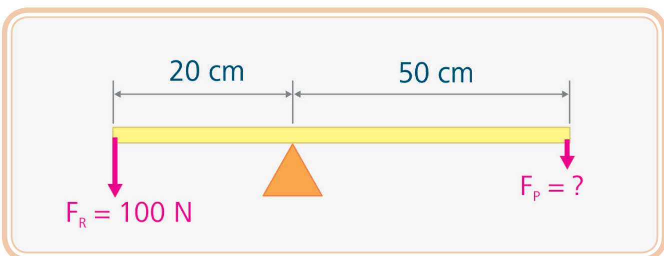

Figura 3.16: Alavanca interfixa em equilíbrio
Fonte: CTISM, adaptado do autor

6. Uma barra de peso desprezível é usada como alavanca para equilibrar uma caixa de peso P, conforme o esquema mostrado na Figura 3.17. Calcule, em função de P, o módulo da força F que deve ser aplicada na extremidade B da barra para que o sistema fique em equilíbrio.

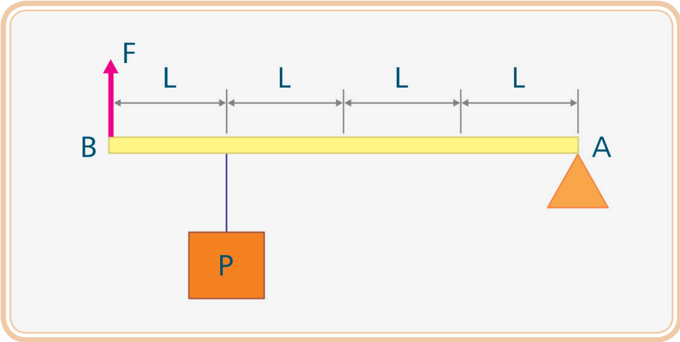

Figura 3.17: Barra em equilíbrio
Fonte: CTISM, adaptado do autor

7. Considere a barra homogênea AB de peso desprezível e comprimento igual a 2 m. Ela é mantida em equilíbrio na horizontal, sobre o apoio C, pelas caixas de pesos 300 N e 100 N, conforme a Figura 3.18.

a) Calcule a distância x entre a extremidade A da barra e o ponto de apoio C.

b) Calcule a intensidade da força de reação que o apoio exerce na barra.

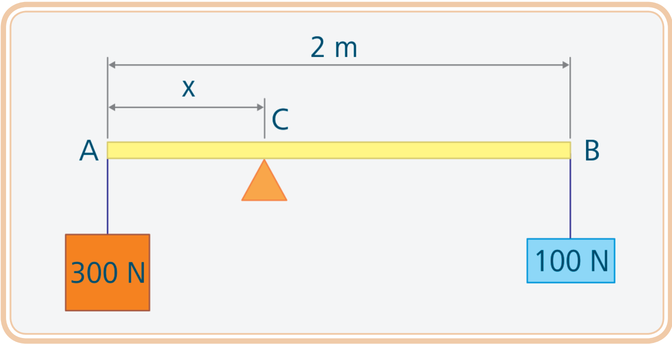

Figura 3.18: Alavanca interfixa em equilíbrio
Fonte: CTISM, adaptado do autor

8. Uma barra homogênea de 2 m de comprimento e peso igual a 40 N encontra-se em equilíbrio, apoiada nas extremidades A e B, conforme a Figura 3.19. A meio metro da extremidade B, é colocado um corpo de peso igual a 60 N. Calcule as intensidades das forças de reação que os apoios exercem sobre a barra.

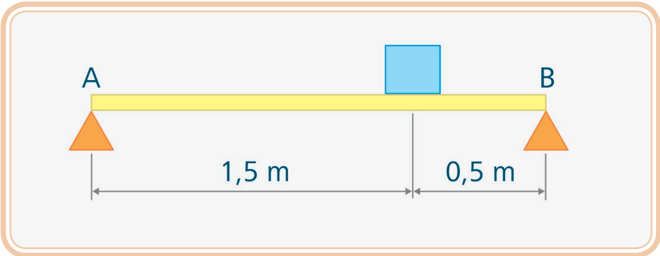

Figura 3.19: Sistema em equilíbrio
Fonte: CTISM, adaptado do autor

Aula 4 – Roldanas ou polias

Objetivos

Compreender o funcionamento de roldanas móveis e fixas.

Aplicar os conceitos aprendidos para a resolução de problemas do cotidiano.

4.1 Considerações iniciais

As roldanas, ou polias, são utilizadas em várias situações do nosso cotidiano. Na construção civil, por exemplo, elas podem ajudar a levar materiais pesados a pisos superiores da construção. Outros exemplos de aplicações dessas máquinas simples podem sem encontrados no funcionamento de escadas rolantes, aparelhos de ginástica, varais de apartamentos, além de várias outras utilidades.

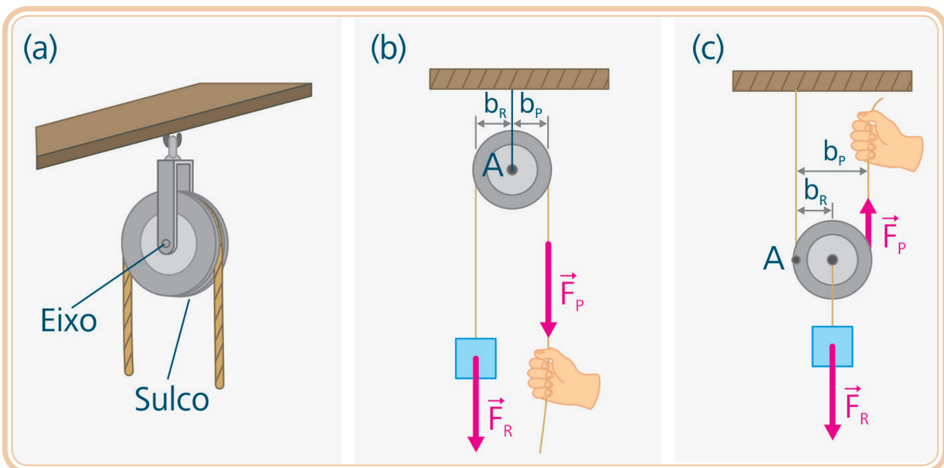

Figura 4.1: Representação de uma polia (a), representação esquemática de uma polia fixa (b) e representação esquemática de uma polia móvel (c)
Fonte: CTISM, adaptado de Torres et al., 2010

Uma polia nada mais é do que uma roda que pode girar ao redor de um eixo que passa pelo seu centro e possui um sulco no qual pode passar uma corda, conforme mostrado na Figura 4.1(a). Além disso, as polias podem ser classificadas como móveis ou fixas, caso seus eixos sejam móveis ou fixos, respectivamente. O papel de uma polia fixa é semelhante ao de uma alavanca interfixa, enquanto o de uma polia móvel é semelhante ao de uma alavanca inter-resistente, como pode ser constatado através das Figuras 4.1(b) e 4.1(c).

4.2 Roldanas fixas

Para os propósitos desse curso, serão considerados sempre fios e roldanas ideais. Uma roldana pode ser considerada ideal quando são desprezíveis sua massa e o atrito em seu eixo de rotação. No caso dos fios, são ideais aqueles completamente flexíveis, inextensíveis e de massa desprezível. Assim, em um fio ideal, a força de tração tem o mesmo valor em todos os pontos.

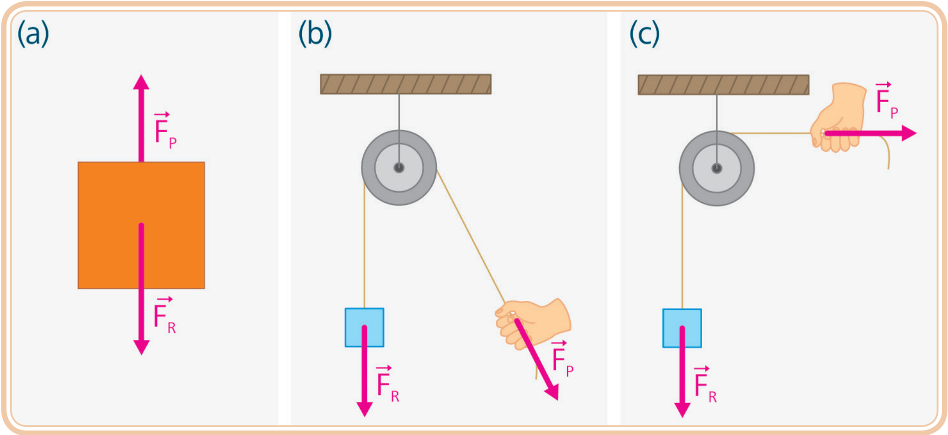

Figura 4.2: Esquema de forças que atuam em uma carga (a) e representação esquemática de que a direção do fio em que se aplica a força potente pode ser convenientemente alterada com o uso de uma roldana fixa (b e c)
Fonte: CTISM, adaptado de Torres et al., 2010

Considere uma roldana fixa em equilíbrio, sustentando uma carga de peso **P**. Assim, a carga fica sujeita à ação da força resistente $\mathbf{F_R}$, que é o seu próprio peso, e à ação da força de tração do fio, com intensidade igual à força potente $\mathbf{F_P}$, conforme mostrado na Figura 4.2(a). A condição de equilíbrio resulta em:

$$F_P = F_R$$

Dessa forma, podemos concluir que:

Em uma roldana fixa, a força resistente é exatamente igual à força potente.

Como a vantagem mecânica de uma máquina simples é dada pela razão entre a força resistente e a força potente, para uma roldana fixa, a vantagem mecânica é igual a 1.

A grande vantagem que as roldanas fixas proporcionam é que elas permitem a aplicação de forças em direções e sentidos mais convenientes, como mostrado nas Figuras 4.2(b) e 4.2(c).

4.3 Roldanas móveis

Analisaremos, agora, uma roldana móvel ideal mostrada na Figura 4.3, aplicando a condição de equilíbrio translacional:

$$F_P + F_P = F_R \rightarrow 2F_P = F_R \rightarrow F_P = \frac{F_R}{2}$$

Dessa forma, podemos concluir que:

Em uma roldana móvel, a força potente tem a metade da intensidade da força resistente.

A vantagem mecânica de uma roldana móvel é igual a 2.

A grande vantagem oferecida por roldanas móveis é que elas são capazes de diminuir a força potente necessária para equilibrar a força resistente.

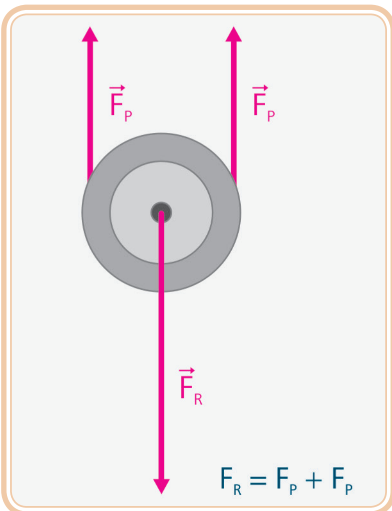

Figura 4.3: Representação de forças que atuam em uma roldana móvel
Fonte: CTISM, adaptado do autor

Assista a um vídeo sobre roldanas em:
https://www.youtube.com/watch?v=66hLAa79tzw

https://www.youtube.com/watch?v=Uv_QIGirqwM&feature=related

4.4 Associação de roldanas fixas com roldanas móveis

É possível associar duas ou mais roldanas, tanto fixas quanto móveis, com o intuito de diminuir a intensidade ou mudar a direção de aplicação da força potente.

Ao serem associadas uma roldana móvel e uma fixa, o efeito produzido é o de mudar a direção de aplicação da força potente, além de reduzir sua intensidade à metade da força resistente. Uma associação deste tipo é mostrada na Figura 4.4(a).

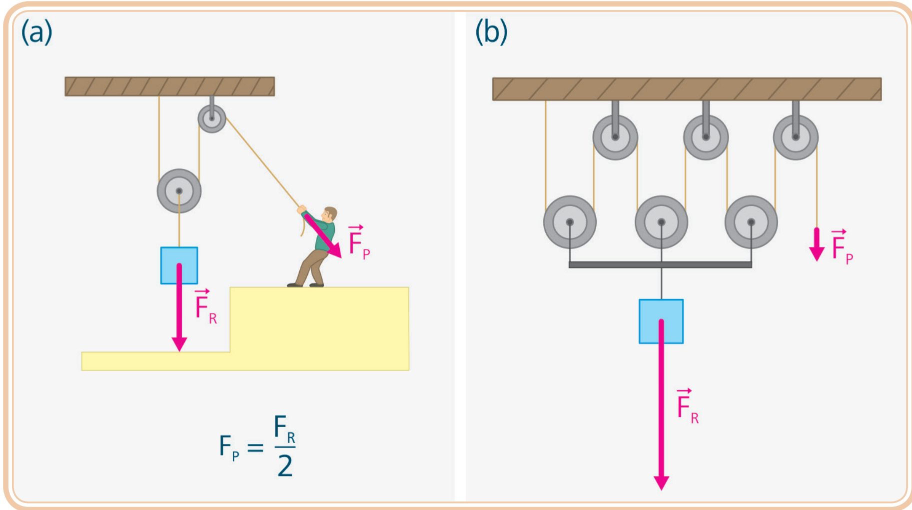

Figura 4.4: Associação de uma roldana fixa e uma móvel (a) e associação de três roldanas fixas e três roldanas móveis (b)
Fonte: CTISM, adaptado de Torres et al., 2010

Na Figura 4.4(b), é mostrada a associação de 3 roldanas móveis com 3 roldanas fixas. Esse arranjo é chamado de talha, em que os eixos de todas as roldanas móveis se movem juntos, possuindo um mesmo nível. Sobre talhas com N roldanas móveis, é possível afirmar:

- A força potente se relaciona com a força resistente da seguinte forma:

$$F_P = \frac{F_R}{2 \times N}$$

- A vantagem mecânica de uma talha é dada por:

$$V_M = 2 \times N$$

4.5 Talha exponencial

Uma talha exponencial é aquela associação em que apenas uma roldana fixa é combinada com N roldanas móveis de eixos distintos. Um arranjo deste tipo é apresentado na Figura 4.5.

- Em uma talha exponencial contendo N polias móveis, a força potente se relaciona com a força resistente da seguinte forma.

$$F_P = \frac{F_R}{2^N}$$

- Já a vantagem mecânica de uma talha exponencial com N polias móveis é dada por:

$$V_M = 2^N$$

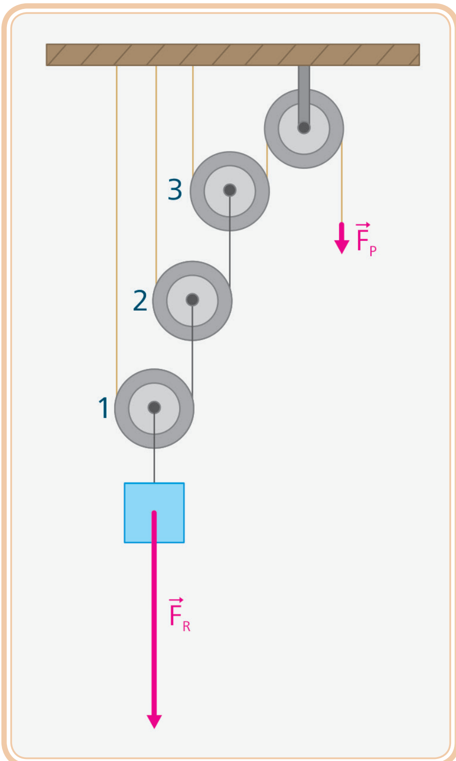

Figura 4.5: Exemplo de uma associação do tipo talha exponencial com três roldanas móveis e uma fixa
Fonte: CTISM, adaptado de Torres et al., 2010

Resumo

Aprendemos, nessa aula, a trabalhar com roldanas, que podem ser móveis ou fixas. A vantagem das roldanas móveis é que cada roldana é capaz de dividir a força resistente por dois. Por outro lado, a principal aplicação de uma roldana fixa é mudar a direção e/ou o sentido de aplicação de uma força.

Também é possível mesclar roldanas móveis e fixas em associações chamadas talhas. Nesse tipo de montagem, há o mesmo número de roldanas móveis e fixas. Além disso, os eixos de todas as roldanas móveis estão sempre em um mesmo nível e movimentam-se juntos. Se apenas uma roldana fixa for associada a roldanas móveis, a associação recebe o nome de talha exponencial.

Além de entender o funcionamento das roldanas, aprendemos a calcular de que forma uma roldana móvel ou uma associação de roldanas móveis e fixas facilitam a elevação de uma carga, por exemplo, diminuindo a força potente a ser aplicada.

As roldanas são amplamente utilizadas na construção civil, sendo um assunto chave em nosso curso.

Atividades de aprendizagem

1. A vantagem mecânica de uma máquina simples é igual a 4. Sabendo que a força potente vale 40 N, calcule o valor da força resistente.

2. Considere o seguinte sistema em equilíbrio, no qual as polias e os fios são ideais. O peso da carga é igual a 100 N.

a) Calcule a intensidade da força potente aplicada pelo operador para equilibrar a carga.

b) Calcule a vantagem mecânica oferecida pela associação mostrada.

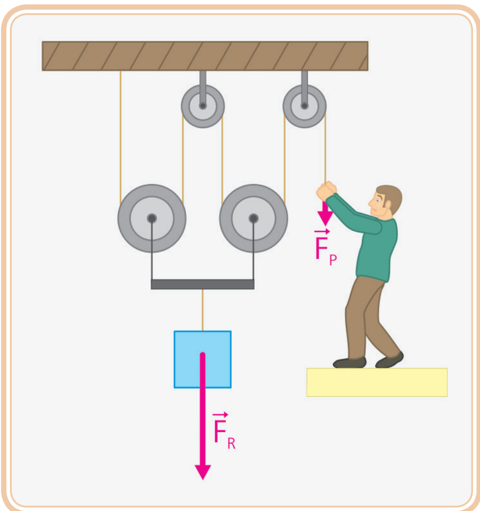

Figura 4.6: Uma talha mantida em equilíbrio pela ação de uma pessoa
Fonte: CTISM, adaptado de Torres et al., 2010

3. Considere a talha exponencial em equilíbrio. As polias e os fios podem ser considerados ideais. O peso da carga é 200 N.

a) Calcule a intensidade da força potente aplicada pelo operador para equilibrar a carga.

b) Calcule a vantagem mecânica da associação.

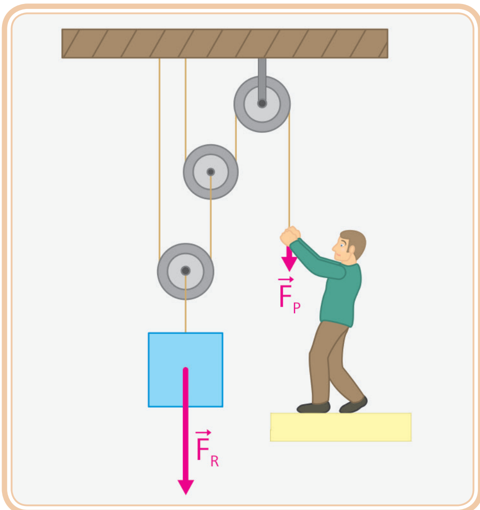

Figura 4.7: Uma talha exponencial mantida em equilíbrio pela ação de uma pessoa
Fonte: CTISM, adaptado de Torres et al., 2010

4. Considere a talha composta por três roldanas móveis e três roldanas fixas mostrada na Figura 4.4(b). Suponha que a força potente seja igual a 20 N e que a força resistente seja igual a 100 N. Responda aos seguintes itens com base em cálculos:

a) O sistema está em equilíbrio?

b) Caso o sistema não esteja em equilíbrio, determine se a carga subirá ou descerá.

c) Caso o sistema não esteja em equilíbrio, calcule quanto deve valer a força potente aplicada para que o sistema entre em equilíbrio.

5. Considere a talha exponencial mostrada na Figura 4.5, composta por uma roldana móvel e três roldanas fixas. Suponha que a força potente seja igual a 20 N e que a força resistente seja igual a 200 N. Responda com base em cálculos:

a) O sistema está em equilíbrio?

b) Caso o sistema não esteja em equilíbrio, determine se a carga subirá ou descerá.

c) Caso o sistema não esteja em equilíbrio, calcule quanto deve valer a força potente aplicada para que o sistema entre em equilíbrio.

6. (UFU - MG) Na Figura 4.8, despreze as forças dissipativas e calcule o peso da carga Q, sabendo que o homem exerce uma força de 25 N para mantê-la em equilíbrio.

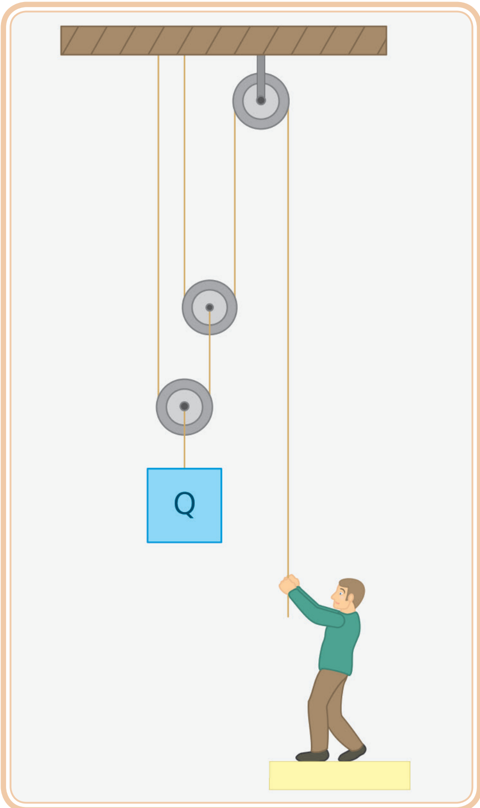

Figura 4.8: Uma talha exponencial mantida em equilíbrio pela ação de uma pessoa
Fonte: CTISM, adaptado de http://www.fisicaevestibular.com.br

Aula 5 – Hidrostática

Objetivos

Compreender os conceitos básicos da hidrostática.

Aplicar os conceitos aprendidos para a resolução de problemas do cotidiano.

5.1 Considerações iniciais

A hidrostática é o ramo da física que estuda os fluidos em repouso, ou em equilíbrio. Um fluido é uma substância que muda de forma facilmente e pode escoar. Portanto, tal termo inclui tanto os líquidos quanto os gases.

5.2 Densidade de um corpo

Experimentalmente, pode-se verificar que, para uma mesma massa de ferro e de madeira, por exemplo, o volume de madeira é maior que o volume de ferro. Dessa forma, há uma característica que depende da massa e do volume que distingue o ferro da madeira. Essa característica é a grandeza chamada densidade d, sendo expressa pela razão entre a massa m de um corpo e seu volume V:

Equação 5.1

$$d = \frac{m}{V}$$

Da Equação 5.1, conclui-se que o ferro tem densidade maior que a madeira, pois, para uma mesma massa, possui volume menor.

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de densidade é o quilograma por metro cúbico (kg/m^3). Outras unidades também bastante usadas são o quilograma por litro (kg/l) e o grama por centímetro cúbico (g/cm^3). A seguinte relação é válida entre as três unidades de densidade apresentadas:

Equação 5.2

$$1\ g/cm^3 = 1\ kg/litro = 1000\ kg/m^3$$

5.3 Empuxo

Ao mergulharmos um corpo, total ou parcialmente, em água, por exemplo, é possível notar que, aparentemente, seu peso diminui. Podemos entender esse fato com base no princípio de Arquimedes:

Todo corpo mergulhado em um líquido em equilíbrio sofre a ação de uma força vertical de baixo pra cima. Essa força tem intensidade igual ao peso do volume de líquido que é deslocado pelo corpo.

A força com que o líquido atua sobre o corpo mergulhado é chamada de empuxo **E**. O empuxo também aparece quando um corpo é mergulhado em um gás. No entanto, como a densidade dos gases, em geral, é muito menor que a densidade dos líquidos, o empuxo que um gás exerce, em geral, é bem menor que o empuxo que um líquido exerce sobre o mesmo corpo. O empuxo é uma força, sua unidade no Sistema Internacional de Unidades é o Newton (N).

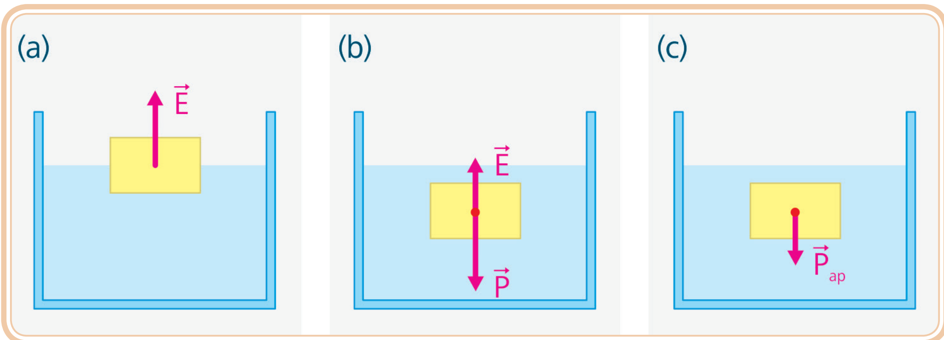

Figura 5.1: Representação do empuxo que atua sobre um corpo parcialmente mergulhado em um líquido. Sobre esse corpo também atua seu peso, não mostrado na imagem (a), as duas forças que agem sobre um corpo completamente mergulhado: seu peso e o empuxo do líquido (b) e o peso aparente do corpo, resultante do seu peso real e do empuxo sofrido (c)
Fonte: CTISM, adaptado do autor

Sabendo que o empuxo **E** tem a mesma intensidade do peso do líquido que é deslocado, $\mathbf{P_L}$, é possível relacioná-lo à densidade $\mathbf{d_L}$ do líquido:

Equação 5.3

$$E = P_L = m_L \times g$$

Onde: m_L é a massa do líquido deslocado

Com o auxílio da Equação 5.1 podemos relacionar m_L com a densidade e o volume do líquido deslocado como $m_L = d_L \times V_L$. Substituindo-se a expressão para m_L na Equação 5.3, obtém-se:

Equação 5.4

$$E = d_L \times V_L \times g$$

Assim, se a densidade do líquido e o volume de líquido que o corpo desloca forem conhecidos, é possível calcular o módulo do empuxo que atua sobre o corpo. Sua orientação é sempre vertical e para cima.

Vale salientar que corpos de volumes iguais, completamente imersos em um mesmo líquido, sofrem o mesmo empuxo, uma vez que deslocam a mesma quantidade de líquido. A Figura 5.1(a) mostra uma representação esquemática do empuxo atuando sobre um corpo parcialmente mergulhado.

5.4 Peso aparente

Como dito anteriormente, aparentemente, um corpo pesa menos quando é mergulhado em um líquido, já que parte de seu peso é "sustentado" pelo empuxo. Por esse motivo, fala-se em peso aparente para um corpo submerso, dado pela diferença entre as intensidades de seu peso e o empuxo sofrido.

Equação 5.5

$$P_{ap} = P - E$$

A Figura 5.1(b) mostra as forças que agem sobre um corpo mergulhado em um líquido, que são seu próprio peso e o empuxo exercido pelo líquido. Já na Figura 5.1(c), é mostrado o peso aparente do corpo. O peso aparente para corpos mergulhados é sempre menor que o peso real, uma vez que o empuxo sempre age contrariamente ao peso.

Se um corpo flutua, quando mergulhado, total ou parcialmente, em um líquido, ele está em equilíbrio, uma vez que nem desce e nem sobe no interior do líquido. Assim, a condição de equilíbrio exige que a resultante das forças que agem sobre ele seja nula. Como as únicas forças envolvidas são o empuxo e o próprio peso do corpo, nessa situação, conclui-se que $P = E$, ou seja, o peso aparente é nulo, uma vez que todo o peso do corpo é equilibrado pelo empuxo.

Situações diferentes acontecem quando o peso do corpo e o empuxo sofrido têm intensidades diferentes. Se o peso do corpo for menor que o empuxo, o corpo sobe até que fique parcialmente fora da água. Ao ficar com parte de seu volume fora da água, o volume de líquido que ele desloca diminui à medida em que mais partes do corpo afloram, diminuindo, assim, o valor do empuxo. Quando o valor do empuxo e o peso do corpo tiverem o mesmo valor, o corpo entra em equilíbrio e flutua com parte de seu volume acima da superfície. Por outro lado, se a intensidade do peso do corpo for maior que a intensidade do empuxo, o corpo afunda até atingir o fundo.

Em relação à flutuação, as relações entre o peso de um corpo e do empuxo sofrido, podem ser resumidas da seguinte forma:

- Se o peso de um corpo for maior que o empuxo que ele recebe, $P > E$, o corpo afunda no líquido.

- Se o peso de um corpo for menor que o empuxo que ele recebe, $P < E$, o corpo sobe no líquido.

- Se o peso de um corpo for igual ao empuxo que ele recebe, $P = E$, o corpo permanece em equilíbrio no líquido.

Pode-se fazer uma associação parecida com respeito à densidade do líquido (d_L) e à densidade de um corpo qualquer mergulhado (d):

- Se a densidade do corpo for maior que a densidade do líquido, $d > d_L$, o corpo afunda no interior do líquido.

- Se a densidade do corpo for menor que a densidade do líquido, $d < d_L$, o corpo sobe no interior do líquido até que aflore e seu peso e o empuxo tenham o mesmo valor.

- Se a densidade do corpo for igual à densidade do líquido, $d = d_L$, o corpo fica em equilíbrio no líquido.

5.5 O empuxo do ar

Tudo aquilo que foi exposto a respeito do empuxo que um corpo sofre de um líquido é válido para o empuxo que um corpo experimenta mergulhado em um gás. Dessa forma, o ar atmosférico exerce um empuxo sobre todos os objetos na Terra, que é dado por:

Equação 5.6

$$E = d_{ar} \times V \times g$$

Onde: d_{ar} é a densidade média do ar atmosférico
V é exatamente o volume do corpo, que se encontra sempre completamente imerso na atmosfera

Conforme dito anteriormente, a densidade do ar atmosférico é muito menor que a densidade dos líquidos, sendo o empuxo exercido por ele muito menor que o empuxo exercido pelos líquidos.

No entanto, para corpos muito leves como um balão, por exemplo, o empuxo possui intensidade comparável ao seu peso, e precisa ser levado em consideração. A força que faz com que o balão suba na atmosfera é chamada de força ascensional, com intensidade dada pela diferença entre o empuxo e o peso do balão:

Equação 5.7

$$F_{asc} = E - P$$

À medida que um balão sobe na atmosfera, o empuxo que ele experimenta diminui, uma vez que a densidade do ar diminui com a altitude. Quando a intensidade do empuxo se torna igual à intensidade de seu peso, a força ascensional se anula e o balão fica em equilíbrio.

5.6 Pressão

Fisicamente, a pressão p é definida como a relação entre a intensidade de uma força que age perpendicularmente a uma superfície e a área dessa superfície:

Equação 5.8

$$p = \frac{F}{A}$$

A pressão é uma grandeza escalar, não sendo associada a ela nem uma direção e nem um sentido. No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de pressão é N/m^2, unidade que é chamada de pascal (Pa).

Considere a Figura 5.2, na qual uma caneta é segurada pelos dedos médio e polegar de uma pessoa. Essa caneta possui uma extremidade pontiaguda e outra extremidade mais achatada. Se a pessoa apertar a caneta com os dedos, sentirá que a extremidade pontiaguda deformará mais a superfície do dedo do que a extremidade achatada, apesar de a força exercida pelas duas extremidades ser a mesma. Isso acontece porque, na extremidade pontiaguda, a força se distribui por uma superfície de área menor, sendo maior a pressão exercida sobre o dedo.

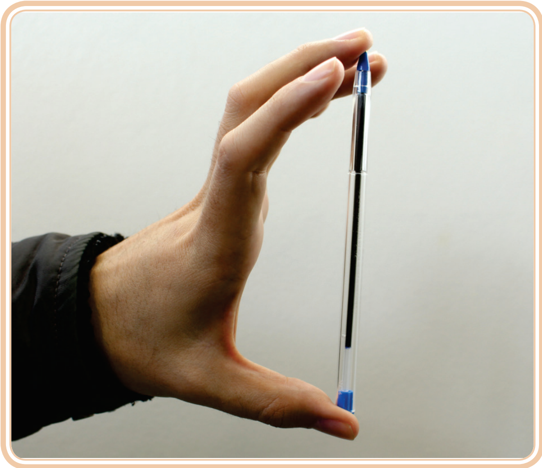

Figura 5.2: Comprimindo-se a caneta, a força exercida em ambas as extremidades é a mesma. No entanto, uma maior pressão é exercida na extremidade pontiaguda do objeto
Fonte: CTISM

Portanto, para uma mesma força, quanto menor a área de aplicação, maior a pressão. É por essa razão que tesouras, facas e alicates de unha, por exemplo, devem estar sempre afiados para funcionarem melhor. Pelo mesmo motivo, pregos, parafusos e alfinetes, por exemplo, devem ser pontiagudos, para poderem ser cravados com mais facilidade.

5.7 O teorema de Stevin

O físico e matemático Simon Stevin concluiu, através de experimentos, que a pressão exercida por uma coluna de líquido depende da altura da coluna e da densidade do líquido, mas não depende da área da coluna. Dessa forma, podemos enunciar o teorema de Stevin como:

A pressão hidrostática que é exercida no interior de um líquido em equilíbrio é dada por:

Equação 5.9

$$p = d_L \times h \times g$$

Onde: d_L é a densidade do líquido
h é a profundidade do ponto em questão
g é a aceleração da gravidade

Assim, quanto mais denso for o líquido, maior a pressão exercida por ele em um ponto qualquer em seu interior, pois mais pesada será a coluna de líquido acima desse ponto. Da mesma forma, quanto mais profundo for o ponto em questão, maior a quantidade de líquido acima dele e, consequentemente, maior será o peso da coluna de líquido e a pressão exercida.

Um resultado interessante do teorema de Stevin é que as pressões em pontos situados a uma mesma profundidade de um mesmo líquido são sempre iguais.

Assista a um vídeo sobre hidrostática em:
https://www.youtube.com/watch?v=xHX1T2TKJfE

https://www.youtube.com/watch?v=sn77VJAGrc8&feature=related

5.8 Pressão atmosférica

Assim como os líquidos, os gases também exercem pressão em pontos em seus interiores. Todo corpo imerso em um gás está sujeito à pressão exercida por ele.

Como tudo que se encontra na atmosfera do planeta está envolvido pelo ar atmosférico, existe uma pressão associada chamada pressão atmosférica. Essa pressão é exercida pela camada de ar que se encontra acima de cada ponto nas imediações da Terra.

O físico italiano Evangelista Torricelli foi o primeiro a perceber que uma coluna de ar também era capaz de exercer pressão. Também foi o primeiro a medi-la. Ele usou mercúrio (Hg) para encher um tubo de vidro, tampou sua extremidade aberta e o inverteu no interior de outro recipiente que também possuía mercúrio. Feito isso, verificou que, no local do experimento, a coluna de mercúrio desceu até que se estabilizasse a uma altura de 76 cm acima do nível de mercúrio do recipiente, como mostrado na Figura 5.3(a). Dessa forma, o pesquisador concluiu que a pressão atmosférica p_{atm} (exercida pelo ar) era equivalente à pressão que uma coluna de mercúrio de 76 cm de altura exercia. Esse é o valor da pressão atmosférica no nível do mar.

Se o experimento de Torricelli for feito em diferentes altitudes, a altura da coluna de mercúrio estabilizada será diferente. Isso acontece porque, à medida que a altitude aumenta, a quantidade de ar acima do ponto em questão será menor, sendo menor, assim, a pressão atmosférica no lugar.

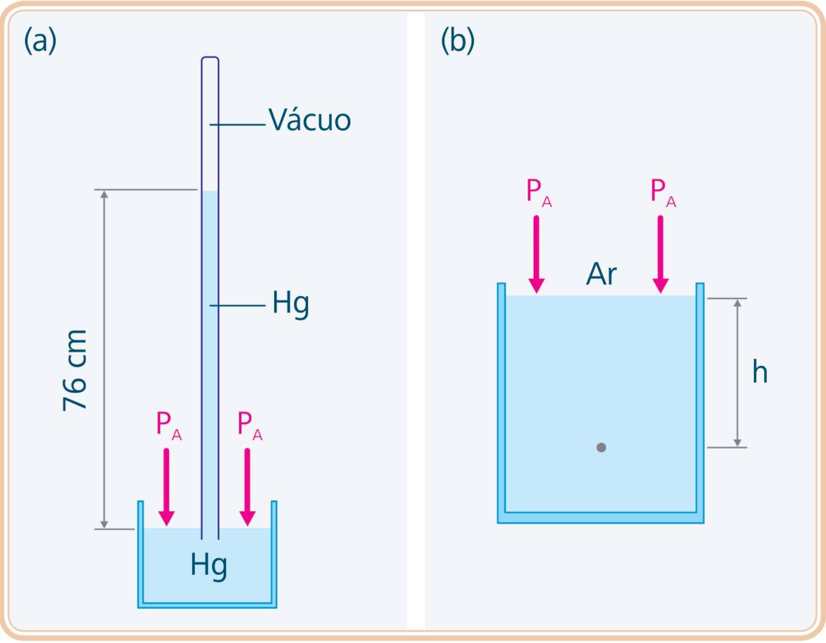

Figura 5.3: A experiência de Torricelli demonstrou que a coluna de mercúrio se estabiliza a uma altura de 76 cm, caracterizando, assim, o valor da pressão atmosférica no nível do mar (a) e a representação esquemática da pressão total em um ponto no interior de um líquido, como a soma da pressão atmosférica e da pressão exercida pela coluna de líquido de altura h (b)
Fonte: CTISM, adaptado do autor

Combinando os resultados que foram obtidos independentemente por Stevin e Torricelli, é possível obter uma expressão para a pressão total de um ponto localizado em meio a um líquido em contato com o ar. Essa pressão será a soma de duas parcelas: (a) pressão atmosférica que o ar exerce e (b) pressão que a coluna de líquido de altura h exerce, conforme mostra a Figura 5.3(b). A pressão exercida a uma profundidade h de um líquido é dada pela Equação 5.9. Assim, a pressão hidrostática total exercida em um ponto é dada por:

Equação 5.10

$$p_{total} = p_{atm} + d_L \times h \times g$$

Onde: d_L é a densidade do líquido
h é a profundidade do ponto em questão
g é a aceleração da gravidade

Conforme dito, uma coluna de mercúrio de 76 cm de altura é capaz de equilibrar a pressão atmosférica. Assim, diz-se que a pressão atmosférica no nível do mar vale uma atmosfera (1 atm) ou 76 centímetros de mercúrio (76 cm Hg) ou 760 milímetros de mercúrio (760 mm Hg). Essas três unidades são chamadas unidades práticas de pressão. As relações entre elas podem ser resumidas como: 760 mm Hg = 76 cm Hg = 1 atm. As relações entre essas unidades práticas e a unidade de pressão no SI, Pa, são: 1 mm Hg = 133 Pa, 1 cm Hg = 1330 Pa e 1 atm = $1{,}01 \times 10^5$ Pa.

5.9 O princípio de Pascal

O princípio de Pascal pode ser notado facilmente no cotidiano. É comum que, ao abrir ou fechar uma porta bruscamente, uma cortina se movimente, ou a vidraça da janela estremeça, ou mesmo uma outra porta se abra. Isso acontece porque, ao movimentar a porta, uma pressão é exercida no ar da sala. Essa pressão é transmitida a todos os outros pontos da sala através do ar. Essa é uma manifestação prática do princípio de Pascal, que pode ser enunciado como:

Um acréscimo de pressão exercido em um ponto de um fluido em equilíbrio, seja líquido ou gás, transmite-se integralmente a todos os outros pontos do fluido e às paredes do recipiente que o contém.

A prensa hidráulica é um dispositivo que tem seu funcionamento baseado no princípio de Pascal. Consiste em dois recipientes de diâmetros diferentes e que são ligados entre si. A prensa é preenchida com um líquido e na superfície de cada lado são colocados êmbolos ou pistões, que podem se mover livremente.

Seja A_1 a área do menor êmbolo e A_2 a área do êmbolo maior, se uma força de intensidade F_1 for aplicada ao êmbolo menor, o êmbolo maior ficará sujeito a uma força de intensidade F_2. Mas o princípio de Pascal nos permite saber que a variação de pressão será a mesma nos dois lados. Assim:

Equação 5.11

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Assim, na prensa hidráulica, a força é proporcional à área do êmbolo. Dessa forma, a prensa é um multiplicador de forças. Esse é também o princípio de funcionamento dos elevadores hidráulicos usados em postos de gasolina e oficinas mecânicas, por exemplo. Exercendo-se uma pequena força de um lado, é possível elevar um automóvel do outro lado do elevador. Na Figura 5.4(a), é mostrada, esquematicamente, uma pensa hidráulica. Já na Figura 5.4(b), é mostrado um elevador hidráulico, uma aplicação do princípio de Pascal.

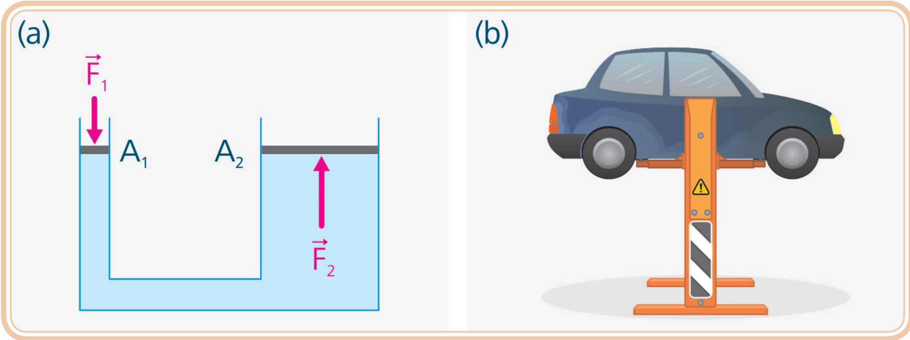

Figura 5.4: Representação esquemática de uma prensa ou elevador hidráulico (a) e elevador hidráulico, aplicação do princípio de Pascal (b)
Fonte: CTISM, adaptado do autor

5.10 Empuxo e pressão

O empuxo sobre um corpo imerso em um fluido pode ser explicado pela diferença de pressão que atua em cada parte desse corpo. A pressão que atua na superfície superior do corpo é menor que a pressão que atua em sua superfície inferior. Isso porque a superfície inferior do corpo está localizada a uma maior profundidade. Assim, essa diferença de pressão faz com que apareça uma força de baixo para cima sobre o corpo. Essa força é exatamente o empuxo.

Para a resolução de exercícios, frequentemente serão necessárias conversões entre diferentes unidades de área e volume. Seguem algumas dessas relações:

$$1\ m^2 = 10^4\ cm^2 = 10^6\ mm^2 \quad e \quad 1\ m^3 = 10^6\ cm^3 = 1000\ \text{litros}$$

5.11 Exemplos resolvidos

Exemplo 5.1

Um cilindro de ferro com 4 cm de altura e base com área de 25 cm^2 é totalmente imerso em álcool de densidade 0,8 g/cm^3 em um local onde g = 10 m/s^2. Calcule o empuxo sofrido pelo cilindro.

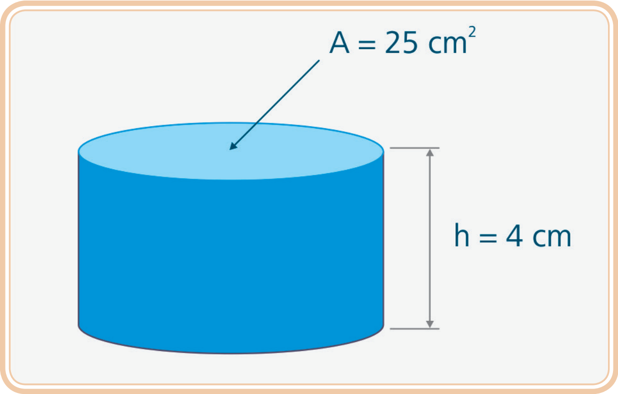

Figura 5.5: Cilindro maciço de ferro
Fonte: CTISM, adaptado do autor

A Equação 5.4 deve ser usada para a solução desse problema. A densidade do líquido d_L foi fornecida e vale 0,8 g/cm^3. O valor da aceleração da gravidade local também é conhecido. Assim, é preciso descobrir o volume de líquido, V_L, que o corpo desloca. Como o cilindro está totalmente mergulhado no álcool, o volume de líquido que ele desloca é exatamente igual ao seu próprio volume V_C. O volume de um cilindro é igual à área de sua base multiplicada pela sua altura. Assim:

$$V_L = V_C = A \times h = 200\ cm^3 = 2 \times 10^{-4}\ m^3$$

Para calcularmos o valor do empuxo em N, que é uma unidade do SI, devemos usar o volume em m^3, que também é uma unidade do SI. Além disso, a densidade do líquido deve ser usada em kg/m^3, por também ser a unidade de densidade do Sistema Internacional. Convertendo:

$$d_L = 0{,}8\ g/cm^3 = 0{,}8 \times 10^3\ kg/m^3 = 8 \times 10^2\ kg/m^3$$

Finalmente, aplicando a Equação 5.4:

$$E = d_L \times V_L \times g = 8 \times 10^2 \times 2 \times 10^{-4} \times 10 \rightarrow E = 1{,}6\ N$$

Se o cilindro fosse oco, porém impermeável, o valor do empuxo sofrido não se alteraria, pois o volume de líquido deslocado pelo cilindro seria o mesmo. O que mudaria, nesse caso, seria o peso do cilindro, que seria menor.

Exemplo 5.2
Considere um tijolo de massa igual a 0,9 kg e volume igual a 800×10^{-6} m^3. Calcule o peso aparente desse tijolo ao ser completamente mergulhado em água de densidade 10^3 kg/m^3. Considere g = 10 m/s^2.

O peso aparente é dado pela diferença entre seu peso real e o empuxo, conforme a Equação 5.5. Seu peso real vale 9 N e o volume de água deslocado é igual ao volume do tijolo, já que ele se encontra completamente submerso. O empuxo sofrido é igual a:

$$E = d_L \times V_L \times g \rightarrow E = 10^3 \times 800 \times 10^{-6} \times 10 \rightarrow E = 8 \text{ N}$$

Dessa forma, o peso aparente do tijolo é:

$$P_{ap} = P - E \rightarrow P_{ap} = 9 - 8 = 1 \text{ N}$$

Exemplo 5.3
Imagine que um telefone celular de massa igual a 100 g caia em uma piscina cheia de água e comece a afundar. Supondo que o empuxo sofrido pelo celular seja 0,4 N e que a força de resistência viscosa da água $\mathbf{F_R}$ seja 0,2 N, calcule a aceleração com que o celular afunda na água.

No interior do líquido, as forças que agem sobre o celular são: o seu peso (**P**), que atua para baixo, e o empuxo (**E**) e a força de resistência viscosa ($\mathbf{F_R}$) da água, que atuam para cima. Como seu peso (1 N) é maior que a soma do empuxo e da resistência da água (0,6 N), o celular afunda. Assim, podemos usar a segunda lei de Newton para calcular a aceleração com que o aparelho desce. A força resultante para baixo que age sobre o aparelho é a diferença entre as forças verticais que atuam sobre o celular. Dessa forma:

$$F = m \times a \rightarrow P - E - F_R = m \times a \rightarrow a = \frac{P - E - F_R}{m} \rightarrow a = \frac{0,4}{0,1} \rightarrow a = 4 \text{ m/s}^2$$

Exemplo 5.4
Um barco de massa igual a 1500 kg flutua sobre a superfície de um lago. Calcule seu peso aparente e o empuxo recebido da água. Considere g = 10 m/s^2.

Como flutua em equilíbrio, a resultante das forças que agem sobre o barco é nula. Sendo o peso e o empuxo as únicas forças envolvidas, podemos concluir que o empuxo e o peso têm o mesmo valor:

$$E = P \rightarrow E = m \times g = 1500 \times 10 \rightarrow E = 15000\ N$$

Já o peso aparente do barco é nulo, uma vez que seu peso é igual ao empuxo recebido da água.

Exemplo 5.5

Um corpo que possui massa igual a 40 g flutua na água com 20 % de seu volume acima da superfície. Sendo a densidade da água igual a 1 g/cm^3, calcule o valor do empuxo que o corpo sofre e sua densidade. Considere g = 10 m/s^2.

Se o corpo está em equilíbrio, flutuando, o empuxo que ele recebe da água é exatamente igual ao seu peso:

$$E = P = m \times g = 0{,}04 \times 10 = 0{,}4\ N$$

Como o empuxo é igual ao peso de líquido deslocado, podemos escrever:

$$E = P \rightarrow d_L \times V_L \times g = m \times g$$

Mas a massa do corpo é igual ao seu volume (V_c) multiplicado pela sua densidade (d_c). Assim:

$$d_L \times V_L \times g = d_c \times V_c \times g \rightarrow d_L \times V_L = d_c \times V_c$$

Sabemos, ainda, que 80 % do volume do corpo se encontra submerso. Assim, o volume de água que ele desloca é igual a 80 % de seu volume total ($V_L = 0{,}8\ V_c$). Substituindo essa relação na equação anterior:

$$d_L \times 0{,}8 \times V_c = d_c \times V_c \rightarrow d_c = 0{,}8 \times d_L \rightarrow d_c = 0{,}8\ g/cm^3$$

Exemplo 5.6

Calcule a pressão total experimentada por um peixe situado a uma profundidade de 16 m em um lago. Considere a pressão atmosférica local igual a 10^5 Pa e a densidade da água igual a 10^3 kg/m^3 e g = 10 m/s^2.

A pressão total no interior de um líquido em contato com o ar é dada pela soma da pressão atmosférica e da pressão exercida pela coluna de líquido. Assim:

$$P = P_{atm} + d_L \times h \times g \rightarrow P = 10^5 + 10^3 \times 16 \times 10 \rightarrow P = 2,6 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Exemplo 5.7

O tubo mostrado na Figura 5.6 foi preenchido com água (líquido representado em azul) e mercúrio (representado em cinza). Os líquidos possuem densidades diferentes e não se misturam. As extremidades do tubo são abertas, o que permite o contato dos líquidos com o ar atmosférico. Em relação à superfície de separação dos dois líquidos, a coluna de mercúrio tem 2 cm. Calcule a altura x da coluna de água em relação ao mesmo nível.

Dados: densidade do mercúrio d_m = 13,6 g/cm^3
densidade da água d_a = 1 g/cm^3.

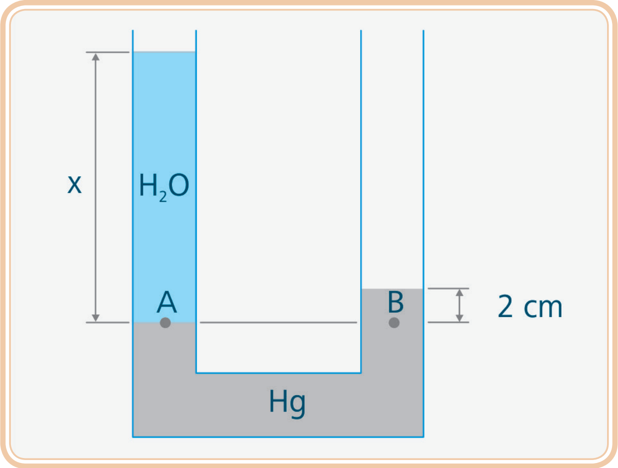

Figura 5.6: Água e mercúrio em equilíbrio em um tubo em formato de U
Fonte: CTISM, adaptado do autor

Se os líquidos estão em equilíbrio, a pressão em quaisquer dois pontos situados em um mesmo nível será igual. Assim, para os pontos A e B, $p_A = p_B$. Mas $p_A = p_{atm} + d_a \times g \times h_a$ e $p_B = p_{atm} + d_m \times g \times h_m$, onde h_a é a altura da coluna de água e h_m é a altura da coluna de mercúrio. Igualando as pressões nos pontos A e B:

$$d_a \times h_a = d_m \times h_m \rightarrow 1 \times x = 13{,}6 \times 2 \rightarrow x = 27{,}2 \text{ cm}$$

Exemplo 5.8

Considere o elevador hidráulico mostrada na Figura 5.4(a). Suponha que, do lado esquerdo (êmbolo de menor área), seja colocado um saco de cimento de massa igual a 50 kg e que a área dessa plataforma seja igual a 0,5 m^2. Calcule quanto deve ser a área da plataforma do lado direito para que, sobre ela, seja equilibrado um automóvel de 1000 kg.

Para resolver esse problema, podemos utilizar o princípio de Pascal, expresso pela Equação 5.11. A pressão é a mesma em ambos os êmbolos ou plataformas. Dito de uma outra forma, a razão entre a força exercida do lado esquerdo, que é o peso do saco de cimento (F_1), e a área da plataforma menor (A_1) é igual à razão entre (F_2) e (A_2), que são o peso do automóvel e a área da plataforma maior. Resolvendo:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \rightarrow A_2 = \frac{F_2}{F_1} \times A_1 \rightarrow A_2 = \frac{1000 \times 10}{50 \times 10} \times 0{,}5 \rightarrow A_2 = 10 \text{ m}^2$$

Dessa forma, fica claro que um elevador hidráulico é capaz de potencializar uma força. Em vez de um saco de cimento, poderia ser uma pessoa exercendo uma força de menor intensidade de um lado e equilibrando o automóvel do outro, por exemplo. Essa é a grande utilidade das prensas e elevadores hidráulicos.

Resumo

Na última aula do nosso curso, aprendemos vários conceitos e equações úteis para a compreensão dos fluidos (líquidos ou gases) em equilíbrio. Esses conhecimentos são extremamente importantes para a construção civil.

Vimos que a razão entre a massa e o volume de um corpo define sua densidade. Se dois corpos possuem o mesmo volume, aquele que tiver uma maior densidade terá mais massa e, consequentemente, pesará mais.

Também aprendemos o conceito de empuxo e como calculá-lo. O empuxo é uma força vertical com sentido de baixo para cima e que atua em todo corpo que esteja parcial ou totalmente mergulhado em um fluido. É devido ao empuxo que um corpo mergulhado em água, por exemplo, parece mais leve.

O empuxo ajuda a sustentar parte do peso real do corpo e, aparentemente, seu peso é menor dentro d'água.

Um conceito extremamente importante introduzido nessa aula é o conceito de pressão, que relaciona uma força à sua área de atuação. Grandes pressões podem danificar seriamente sistemas hidráulicos e estruturais de prédios e residências, por exemplo.

Estudamos que a pressão aumenta com a profundidade no interior de um líquido. Esse resultado é conhecido como teorema de Stevin e, também, aprendemos como calcular esse aumento de pressão.

Finalmente, vimos que uma variação de pressão no interior de um fluido é transmitida integralmente a todos os pontos desse fluido e também às paredes do recipiente em que o fluido se encontra. Esse é o princípio de Pascal. É esse princípio físico que torna possível a multiplicação de forças em um elevador ou em uma prensa hidráulica, por exemplo.

Atividades de aprendizagem

1. Dois corpos, A e B, estão completamente imersos em água e as intensidades dos empuxos que atuam sobre eles são iguais. Nessas condições, são necessariamente iguais:

a) As suas massas.

b) Os seus volumes.

c) As suas densidades.

d) As suas formas geométricas.

e) Os seus pesos.

2. (U. E. Londrina - PR) O peso de um corpo homogêneo, de densidade 7,8 g/cm^3, é obtido por meio de um dinamômetro, que registra 3,9 N no ar. Mergulhando o corpo totalmente em um líquido, o dinamômetro marca 3 N. Nessas condições, sendo g = 10 m/s^2, calcule a densidade do líquido em g/cm^3.

3. (Fuvest - SP) Um tijolo tem massa de 2 kg e volume de 1000 cm^3.

a) Calcule a densidade do tijolo.

b) Calcule seu peso aparente quando está totalmente mergulhado em água de densidade igual a 1 g/cm^3. Adote $g = 10\ m/s^2$.

4. Um corpo de massa igual a 400 g flutua em ácido sulfúrico, cuja densidade é $d_a = 1{,}84\ g/cm^3$, com metade de seu volume submerso. Calcule:

a) O empuxo sofrido pelo corpo.

b) A densidade do corpo.

5. Um corpo de massa igual a 8 kg e densidade $2 \times 10^3\ kg/m^3$ encontra-se em equilíbrio, suspenso por um fio e totalmente imerso em um líquido de densidade $10^3\ kg/m^3$. Nessas condições, considerando $g = 10\ m/s^2$, calcule o peso aparente do corpo.

6. (UFSM - RS) Um corpo de peso igual a 5 N aparenta ter somente 2 N quando mergulhado em água, cuja densidade é 1 g/cm^3. Sabendo que $g = 10\ m/s^2$, calcule:

a) O empuxo recebido pelo corpo.

b) O volume do corpo.

c) A densidade do corpo.

7. Um balão de massa igual a 200 g recebe um empuxo igual 2,2 N do ar atmosférico.

a) Através de cálculos, o balão sobe ou desce na atmosfera sob estas condições? Considere $g = 10\ m/s^2$.

b) Calcule a aceleração do movimento do balão. Desconsidere a força de resistência do ar.

8. (UNIFAL - MG) Um balão de volume constante e massa m eleva-se na atmosfera. Sabendo que a densidade do ar atmosférico diminui com o aumento da altura e desconsiderando os efeitos da variação da temperatura e movimento do ar atmosférico, pode se afirmar que:

a) O balão subirá indefinidamente até escapar da atmosfera terrestre, em razão do aumento do empuxo sobre ele à medida que sobe.

b) O balão subirá até uma determinada altura e voltará a descer até a posição inicial, devido à ação da gravidade.

c) O balão subirá, mantendo-se em torno de uma altura onde o empuxo sobre ele é igual ao seu peso.

d) O balão subirá até uma determinada altura e voltará a descer até a posição inicial, em razão da variação do empuxo, à medida que se move no ar.

e) O balão subirá indefinidamente, até escapar da atmosfera terrestre, em razão da não variação do empuxo sobre ele à medida que sobe.

9. O tubo mostrado na Figura 5.7 foi preenchido com água (líquido representado em azul) e glicerina (representado em cinza). Os líquidos possuem densidades diferentes e não se misturam. As superfícies superiores do tubo são abertas, permitindo o contato dos líquidos com o ar atmosférico. Em relação ao nível da superfície que separa os dois líquidos, a coluna de glicerina tem 3 cm. Calcule a altura da coluna de água em relação ao mesmo nível. Dados: densidade da glicerina = 1,26 g/cm^3, densidade da água = 1 g/cm^3.

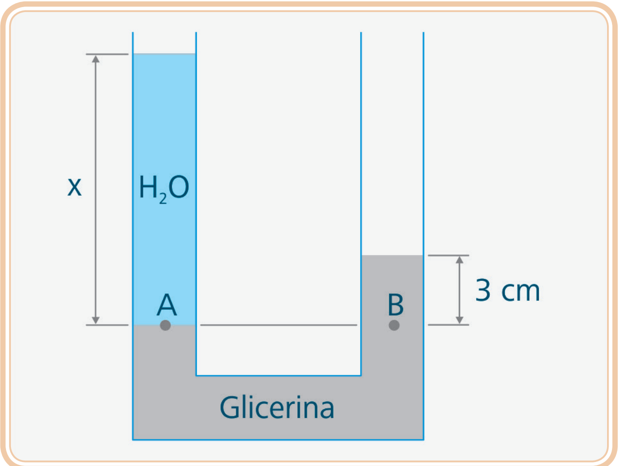

Figura 5.7: Água e glicerina em equilíbrio em um tubo em formato de U
Fonte: CTISM, adaptado do autor

10. Um pedreiro usou o elevador hidráulico mostrado na Figura 5.8 para equilibrar um tijolo de massa igual a 1 kg do lado esquerdo e uma caixa de ferramentas de 50 kg do lado direito. Sabendo que a área do êmbolo em que a caixa de ferramentas foi apoiada é de 1 m^2, calcule a área do êmbolo em que o tijolo foi apoiado.

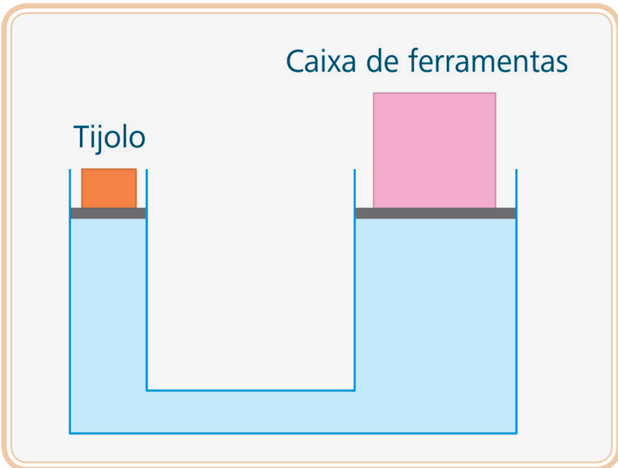

Figura 5.8: Elevador hidráulico usado para equilibrar um tijolo e uma caixa de ferramentas
Fonte: CTISM, adaptado do autor

Referências

DOCA, R. H.; BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V. **Física**. São Paulo: Saraiva, 2010. Volume 1.

MARTINI, G. et al. **Conexões com a física**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2013. Volume 1.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de física**. 6. ed. São Paulo: Scipione, 2010. Volume 1.

PARANÁ, D. N. S. **Física**: edição compacta. São Paulo: Ática, 2003.

TORRES, C. M. A. et al. **Física**: ciência e tecnologia. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2010. Volume 1.

Currículo do professor autor

O professor **Edio da Costa Junior** concluiu a graduação em Física, bacharelado e licenciatura, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), entre 2000 e 2003. O Mestrado (2004 a 2006) e o Doutorado (2006 a 2010) foram realizados no curso de Geofísica Espacial do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Possui experiência e formação em ensino e pesquisa em física, com ênfase em física de plasmas espaciais, interações Sol-Terra e processos físicos no meio interplanetário. Atualmente, é professor do *campus* de Ouro Preto do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG e coordenador do curso de licenciatura em Física daquele *campus*.