Aula

11

CONDIÇÕES DE EQUILÍBRIO

META

Identificar as condições de Equilíbrio estático de corpos rígidos.

OBJETIVOS

Ao final desta aula, o aluno deverá:

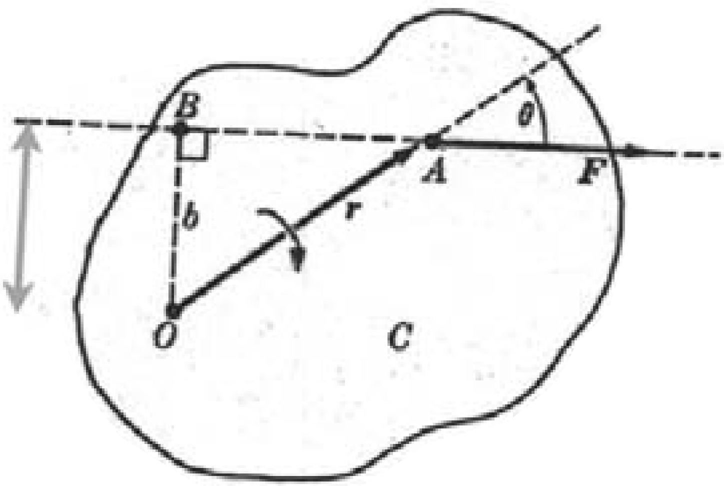
calcular o momento de uma força (ou torque);

equacionar uma situação de equilíbrio estático e verificar se ela satisfaz as condições de equilíbrio; e

determinar o centro de gravidade dos corpos rígidos.

PRÉ-REQUISITOS

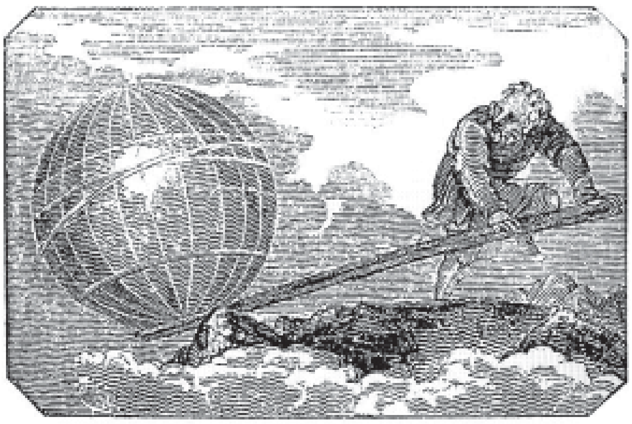
Álgebra, trigonometria, leis de Newton e vetores.



(Fonte: http://figaro.fis.uc.pt).

INTRODUÇÃO

Esta primeira aula do segundo módulo trata da utilização das leis de Newton para o estudo de equilíbrio dos corpos extensos. No inicio da aula introduziremos o conceito de torque, ou momento de uma força. Definido como uma força multiplicada por um braço de alavanca, o torque é responsável por uma infinidade de fenômenos que acompanhamos no dia a dia. Para esta aula ele será importante por se constituir em um fator importante no equilíbrio. Em seguida faremos a apresentação formal das *Condições de Equilíbrio Estático*. Estas condições rezam que as forças resultantes aplicadas sobre um corpo sempre tem que se anular (1ª condição) e que os torques aplicados sobre o corpo, independentemente da escolha de um ponto de rotação também tem que se anular (2ª condição). Assim como na primeira lei de Newton, estas condições são válidas para corpos em repouso e em movimento retilíneo uniforme, mas por uma questão de dificuldade computacional, somente o primeiro caso é aqui abordado.

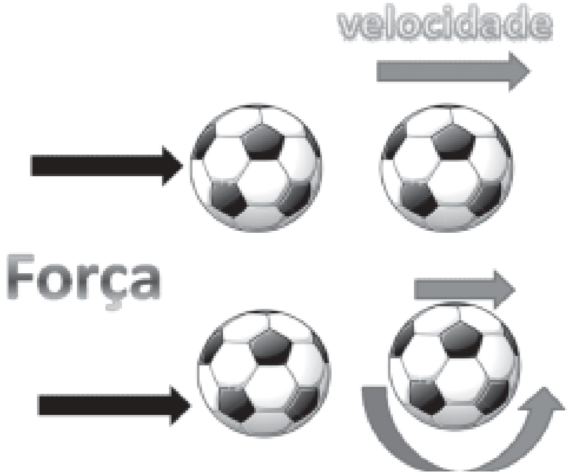


(Fonte: http://www.acadciencias.org.br).

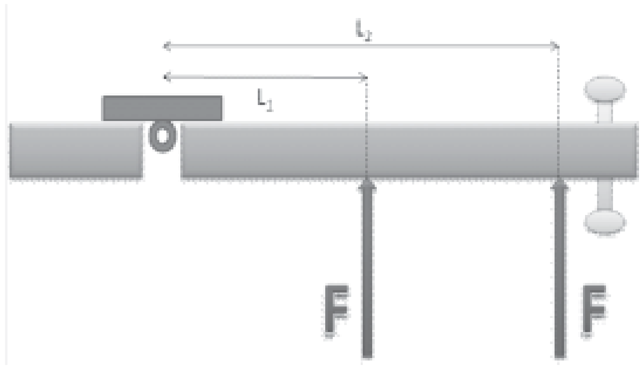
MOMENTO DE UMA FORÇA

Bem vindos ao segundo módulo de Física Básica. Hoje trataremos do problema de equilíbrio estático dos corpos. Veremos que sob algumas condições os corpos podem ficar parados por um espaço de tempo indeterminado. Para este estudo, no entanto, precisaremos introduzir o conceito de *momento de uma força*, ou simplesmente torque. O torque aplicado sobre um corpo precisa ser descrito através de duas variáveis: a sua intensidade (vetorial) e o seu local de aplicação. Até agora sempre assumimos que uma força aplicada sobre uma bola, ou um bloco, ou qualquer objeto extenso, causava um movimento de translação. O corpo adquiriria uma aceleração cujo vetor partia de seu centro de massa, o que evitava o problema de uma *rotação*.

Veja o problema pelo ponto de vista de um jogador de futebol:



Nesta figura temos uma representação do chute dado por dois jogadores em duas bolas. As forças aplicadas foram as mesmas, mas o local da força foi diferente. No primeiro caso temos um chute "de bico": a bola se desloca com uma grande velocidade e, por não girar, se desloca linha reta. No segundo caso, temos um chute "de três dedos", ou "com efeito". Apesar de a força ser a mesma, a velocidade da bola é menor e no seu deslocamento ela apresenta uma rotação. Esta rotação muda a trajetória da bola, e em muitos casos engana o pobre goleiro. A diferença básica entre os dois chutes é o local de aplicação da força. Entramos agora então no estudo de como esta força pode ser medida e quais são os seus efeitos. No mesmo exemplo da bola de futebol, o jogador talentoso sabe exatamente como calibrar a força e o local do chute, mas como estas variáveis podem ser equacionadas? Vejamos um segundo exemplo que nos dará uma idéia da resposta.



Este é o caso típico de uma porta que estamos tentando abrir, mas está seriamente emperrada. Se utilizarmos toda a nossa força (no caso **F**) para abrir esta porta, aplicando-a a uma distância L_1 da dobradiça, podemos ter sucesso, ou não. E se aplicarmos a uma distância L_2 da dobradiça, termos melhores chances? Se você tem alguma dúvida, faça um teste, mas podemos adiantar com certeza que ficará muito mais fácil se aplicarmos a força bem perto da maçaneta. Isto nos indica que o torque depende da distância entre o ponto de aplicação da força e outro ponto do corpo. Este outro ponto não é um ponto qualquer, mas o *centro de rotação*. No caso da porta deste último exemplo, o centro de rotação é onde estão as dobradiças. No caso da bola o centro de rotação se encontra no centro da bola (lembre-se que a bola gira em torno de seu eixo). Como a dependência do torque com a força é evidente, podemos já apresentar a equação que relaciona estas grandezas:

$$\tau = LF$$

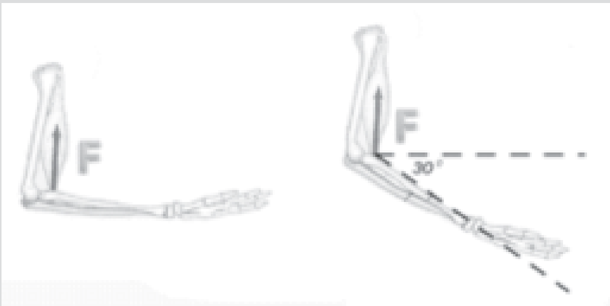
Onde t é o torque, F é a força aplicada e L é a distância entre o ponto de aplicação e o centro de rotação. No sistema SI o torque tem unidade de Newton-metro. Como a força é um vetor e a distância precisa ser representada por um vetor, concluímos que o torque também é um vetor. A forma vetorial desta equação é dada por um **produto vetorial,** mas não faz parte de nosso curso. Precisamos apenas ficar atentos ao fato de que apenas a componente da força perpendicular à reta que une o ponto de aplicação e o centro de rotação participa do torque. Para esclarecer um pouco este ponto veremos agora alguns exemplos.

ATIVIDADES

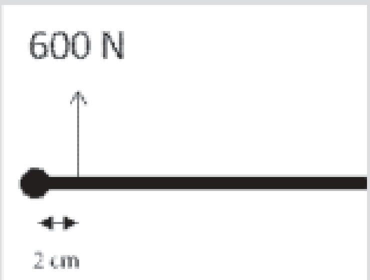
1. O bíceps é um grande músculo localizado na parte superior do braço. Suponha que a força máxima que ele pode exercer seja de 600 N. Como o seu tendão está ligado aos ossos do antebraço, existe um movimento de alavanca quando se levanta um peso. Na figura abaixo mostramos duas situações: na primeira o antebraço faz um ângulo de noventa graus com o braço e na segunda o ângulo passa para 120º. Sendo a distância entre a inserção do músculo e o centro de rotação igual a dois centímetros, e o comprimento do braço igual a 60 cm determine qual das duas situações é mais adequada para levantar um bloco de 30 kg.
2. Se o bloco do problema anterior tivesse uma alça que pudesse ser presa ao braço, qual seria a distância máxima entre o cotovelo e a alça que ainda permitiria o levantamento do bloco?

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

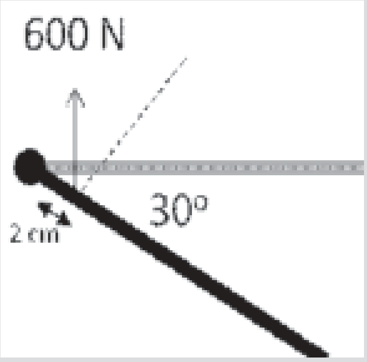
Este é um problema muito simples, apesar de parecer o contrário. Considere a figura abaixo:



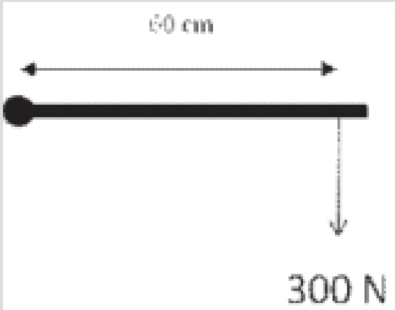
Este desenho ilustra a situação que descrevemos. O problema é: como devemos posicionar o braço para levantar um bloco pesado como este? Em ângulo reto, ou inclinado? A resposta se encontra no cálculo do torque máximo que o músculo pode aplicar. Façamos um diagrama para determinar qual é o melhor caso:



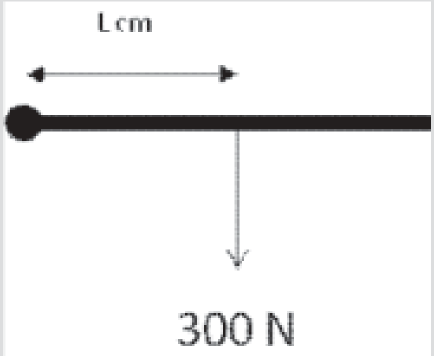
O cálculo do torque aqui é muito simples: $\tau = LF = 0,02 \times 600 = 12Nm$
No segundo caso aparece uma pequena diferença, veja o diagrama:



Note que agora a situação mudou! A força que o músculo pode aplicar ainda é a mesma, mas apenas parte dela serve para levantar o braço. Esta parte corresponde à componente perpendicular ao braço. O seu cálculo é muito simples (com um pouquinho de trigonometria): $\tau = LF = 0,02 \times 600 \times cos30 = 10,4Nm$. Concluímos então que o maior torque é aquele obtido quando o braço está fazendo um ângulo reto com o antebraço. Fica, no entanto, uma dúvida: será possível levantar o bloco? A resposta virá com um novo cálculo de torque: a figura abaixo mostra o que acontece:



O torque é novamente calculado de modo simples e direto: $\tau = LF = 0,6 \times 300 = 180Nm$. Você não conseguirá levantar este bloco de maneira nenhuma! O torque necessário é quase vinte vezes maior que o máximo que você pode aplicar com o seu bíceps (lembre-se de que estes números não são reais e você provavelmente pode sim levantar o bloco).
Este problema é ainda mais simples, veja o diagrama:



O torque aplicado pelo braço (nesta posição) é de 12 Nm. Para poder levantar este bloco é necessário então um torque maior que este. Calcularemos então qual é a distância L onde deve ser colocado o bloco para obter o mesmo torque: $\frac{\tau}{F} = L \rightarrow L = \frac{12}{300} = 0,04m = 4cm$. Este resultado numérico apenas nos confirma aquilo que já sabíamos por experiência.

Agora que já nos armamos com o ferramental do torque podemos passar para o objeto desta aula: Condições de Equilíbrio. Nós podemos dizer que um corpo se encontra em equilíbrio se ele está parado ou se movendo a uma velocidade constante. Neste curso nós só estudaremos o primeiro caso. Veremos que um corpo pode estar sujeito a uma série de forças que se cancelam mutuamente fazendo com que ele se mantenha estático. Este é um assunto que parece mais indicado para estudantes de engenharia, mas aqueles das áreas biológicas serão contemplados com um conhecimento que será básico para a compreensão do sistema músculo esquelético.

Nós vimos no estudo das leis de Newton que a condição necessária para que um objeto esteja em repouso é que a força resultante sobre ele seja igual a zero. Se todas as forças (vetores) que atuam sobre a partícula se anulam, então ele se mantém em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. Isto é perfeitamente válido para um corpo que não tem *dimensões*. Isto é válido para partículas. A bola de futebol que mostramos acima pode se encaixar ou não na definição de partícula. Se estudarmos a trajetória de uma bola que se desloca em movimento parabólico, podemos assumir que ela é uma partícula e que toda a sua massa está concentrada em um ponto no seu interior conhecido como *Centro de Massa*. Vejamos agora o que acontece se duas pessoas chutam a mesma bola no mesmo instante e com mesma intensidade (uma bola "*prensada*" como é conhecida no futebol).

O desenho à esquerda mostra a situação real, onde a bola tem três dimensões e a força é aplicada em um ponto bem definido de sua superfície. Quando tratamos a bola como uma partícula, utilizamos o diagrama à direita. Estes dois casos são equivalentes apenas quando as forças estão sendo aplicadas na mesma direção (note que elas têm sentidos opostos). Considere agora a figura abaixo:

As forças continuam tendo a mesma intensidade, a mesma direção e continuam sendo opostas, mas desta vez nós não podemos utilizar o diagrama à direita. A bola já não pode mais ser representada por uma partícula. A bola é e deverá ser tratada como um corpo extenso. Estas duas forças *não se cancelam*! Pense na situação real. No caso anterior os dois jogadores prensaram a bola e ela ficou parada no lugar (e deve ter sido dolorido para eles). Neste segundo caso a bola deve ter saído girando descontroladamente para qualquer direção (no caso real). No caso idealizado que mostramos a bola não sairá do lugar, mas irá girar em torno do seu eixo.

Esta discussão nos leva a concluir que a primeira lei de Newton é uma condição necessária, mas não suficiente para que um corpo esteja em equilíbrio estático. A soma das forças tem que ser igual a zero, mas falta algo.

A soma dos torques, em relação a qualquer eixo de rotação, também tem que ser igual a zero.

Podemos agora sintetizar as condições de equilíbrio na forma de equações:

$$\sum \vec{F} = 0; \sum \vec{\tau} = 0$$

A primeira condição nos diz que existe um equilíbrio translacional e o segundo nos diz que existe um equilíbrio rotacional. Em linguagem mais simples: o corpo não está andando e tampouco rolando...

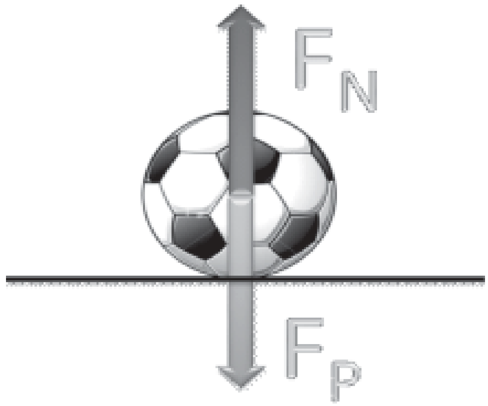
Vamos agora tentar prever que tipo de problemas nós encontraremos pela frente. Um corpo que esteja sendo analisado terá forças em várias direções, mas poderemos decompô-las em três direções principais, reduzindo o problema para três equações. Se os pontos de aplicação destas forças não forem os mesmos, precisaremos então equacionar os torques, o que nos trará mais um grupo de três equações. Um problema deste tamanho é simples de resolver, mas muito trabalhoso. Um problema em apenas duas dimensões apresenta o mesmo grau de dificuldade conceitual, mas uma maior simplicidade computacional. Por isto nos limitaremos a corpos que se movem em apenas duas dimensões, ou seja, um plano. Neste caso nos limitamos a apenas duas equações para a força resultante, nos eixos *x* e *y*, e apenas uma equação para o torque:

$$\sum F_x = 0; \sum F_y = 0; \sum \tau_z = 0$$

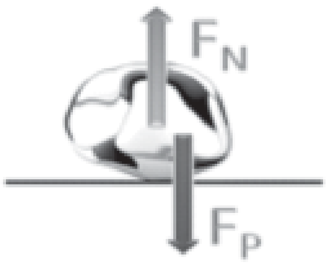
Você deve ter notado que apareceu um índice *z* na equação do torque. Não se preocupe com isto. Formalmente (e rigorosamente), o torque é definido como o produto vetorial entre o vetor posição e o vetor força. Como estes dois vetores estão no plano *x-y* o torque se encontra necessariamente na direção z. Estas são propriedades dos vetores e de sua álgebra toda especial. Neste curso nos limitaremos a *aplicar* todos estes conceitos, o que não é pouco. Antes de continuar, vejamos um teorema sobre a aplicação do torque. Ele não será demonstrado aqui, mas será de grande valia em nosso trabalho:

"Se um objeto se encontra em equilíbrio translacional e o torque em relação a um ponto arbitrário é zero, então o torque deve ser zero em relação a qualquer outro ponto".

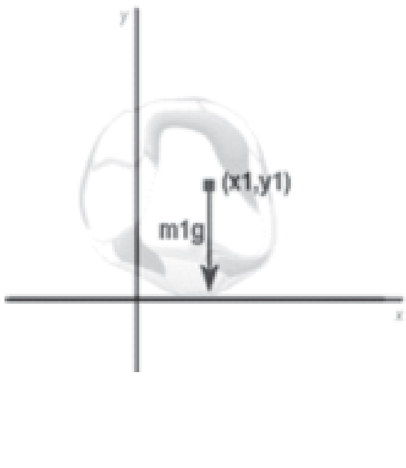
Veremos em breve como este simples teorema facilita a nossa vida. Antes disso, no entanto, vamos esclarecer um ponto: o que é o *centro de massa (ou centro de gravidade)*? Todas as discussões que tivemos anteriormente com a trajetória de corpos extensos ou partículas levaram em conta a aceleração da gravidade. No caso das partículas não há problemas a vista, pois a força gravitacional é aplicada sobre a mesma e tem módulo, direção, sentido e *ponto de aplicação* bem definidos. No caso de corpos extensos é necessário um pouco mais de cuidado. Vamos ver novamente nossa bola de futebol milésimos de segundos antes de ser chutada:



As forças peso e Normal estão sendo aplicadas na mesma direção e sentidos opostos. Alem disso elas estão sendo aplicadas no mesmo ponto da bola e por isto ela está em equilíbrio rotacional. Podemos neste caso tratar a bola como se fosse uma partícula sem nenhum problema, mas, e se a bola fosse toda distorcida como a mostrada abaixo?



Esta bola esquisita não nos permite saber claramente onde aparece a força peso e onde aparece a força normal. Como faremos então para determinar se ela está em equilíbrio? Em nosso resgate aparece o conceito de centro de massa (e de gravidade). Vale a pena neste ponto especificar que o centro de massa é o mesmo que o centro de gravidade quando a gravidade é uniforme em toda a extensão do corpo, o que é quase sempre o caso. O equacionamento necessário para a determinação do centro de massa é muito simples de definir, mas razoavelmente difícil de determinar. Verifique a figura abaixo:



Neste desenho mostramos um pedacinho da bola. Este pedacinho está colocado em uma posição (x_1, y_1) em um sistema cartesiano de coordenadas arbitrário. Este pedacinho da bola tem massa m_1 e a interação gravitacional com a Terra lhe confere um peso $m_1 g$. Para determinar o peso total da bola, tudo que temos que fazer é somar a massa de cada um dos outros pedacinhos da bola e multiplicar pela aceleração da gravidade:

$$\vec{P} = \vec{g}\sum_i m_i = \vec{g}(m_1 + m_2 + \cdots + m_i + \cdots) = M\vec{g}$$

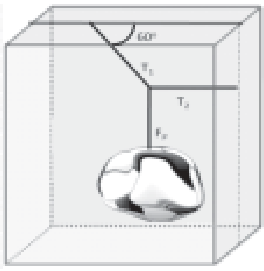
Nesta equação usamos o índice i para designar qual é o pedacinho da bola. Como não sabemos quantos pedacinhos existem, deixamos sem um fim. Isto é intuitivo. A *posição* deste vetor, no entanto não é tão intuitivo e é dada pelas seguintes fórmulas:

$$x_{CG} = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_1}$$

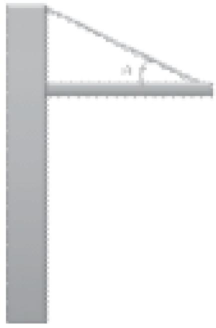
$$y_{CG} = \frac{\sum_i m_i y_i}{\sum_i m_1}$$

ATIVIDADES

1. Considere uma bola totalmente deformada pendurada em um sistema de cordas como o mostrado na figura abaixo. Sendo a massa total da bola igual a 5,0 kg, calcule as tensões nas cordas que a mantém em equilíbrio.



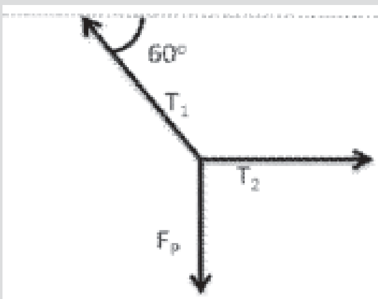
2. Um cano uniforme de massa 12 kg e comprimento 2 metros é encostado a um poste e suportado por um cabo de aço como na figura abaixo. Este cabo de aço faz um ângulo q com a horizontal e liga o topo do poste à extremidade do cano. Sendo o coeficiente de atrito entre o poste e o cano dado por m=0,3, determine o maior valor de q para que o sistema se mantenha em equilíbrio.



3. Uma escada de 5 metros de comprimento se encontra encostada a um muro a uma altura de 4 metros. Sendo a escada uniforme e tendo uma massa de 12 kg determine até que ponto uma pessoa de 58 kg pode subir antes que a escada comece a escorregar. Assuma que o coeficiente de atrito entre a escada e o chão é 0,4 e que não há atrito entre a escada e o muro.

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

1. Este probleminha começa perguntando: como vou calcular o centro de massa dessa bola esquisita? Na verdade isto não importa neste caso. A massa da bola é igual a 5,0 kg e portanto a Força Peso deve ser igual a 50 N. Para resolver o problema precisaremos apenas da primeira condição de equilíbrio, ou seja, que a força resultante seja nula. Vejamos um pequeno diagrama de forças:



Assim fica muito mais fácil de visualizar o equilíbrio. Tudo que temos a fazer é equacionar a componente vertical e horizontal das forças e igualá-las a zero:

$$\sum F_x = T_2 - T_1 cos60 = 0$$

$$\sum F_y = T_1 sen60 - F_P = 0$$

Sendo a força peso igual a 50 N podemos resolver a segunda destas equações:

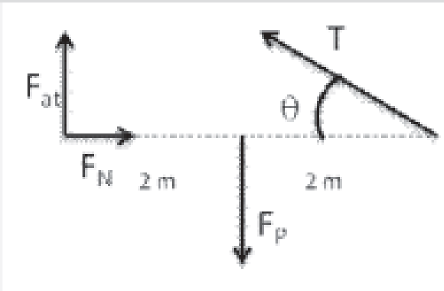
$$T_1 = \frac{50}{sen60} = 57,7N$$

E podemos agora passar para a segunda equação:

$$T_2 = 57,7cos60 = 28,8N$$

Este resultado surpreendentemente simples nos mostra um detalhe interessante: nem sempre é uma boa idéia separar uma carga em duas cordas. Neste caso ficou claro que uma única corda sofreria uma tração de apenas 50 N...

2. Finalmente chegamos a um problema completo de equilíbrio estático. Para começar a resolver vamos desenhar um diagrama de forças:



Este belo diagrama de forças mostra que não podemos colocar todos os vetores em um único ponto como no problema anterior. Aqui realmente o torque será fundamental. A primeira condição de equilíbrio exige que a resultante das forças seja igual a zero. Vamos convencionar que existe um eixo *x*, horizontal, que vai da esquerda para a direita e um eixo *y*, vertical, que vai de baixo para cima. Ainda não diremos onde está a sua origem. Podemos equacionar então a componente vertical:

$$\sum F_y = F_{at} + Tsen\theta - F_P = 0$$

A força peso é conhecida e equivale a 120 N. A tração e a Força de Atrito ainda não são conhecidas. Como a expressão da Força de Atrito é dada por $F_{at} = \mu F_N$ quando o cano está na iminência de escorregar, então podemos utilizar o valor do coeficiente de atrito na equação acima e ficar com:

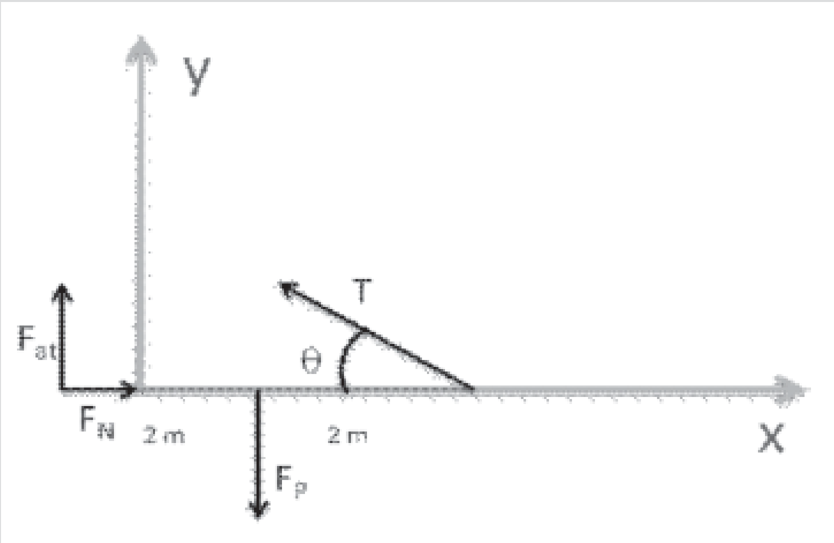
$$0,3F_N + Tsen\theta - 120 = 0$$

Passando para a componente horizontal obtemos:

$$\sum F_x = F_N - T cos\theta = 0$$

Temos então duas equações e três variáveis. Este sistema não pode ser resolvido, o que fazer? Aplicamos agora a segunda condição de equilíbrio: a soma dos torques deve ser igual a zero! Sendo o torque definido como a força multiplicada pela distância entre o ponto de aplicação e o centro de rotação surge a pergunta: onde está este centro de rotação? Isto equivale a perguntar: onde está a origem do meu sistema de coordenadas?

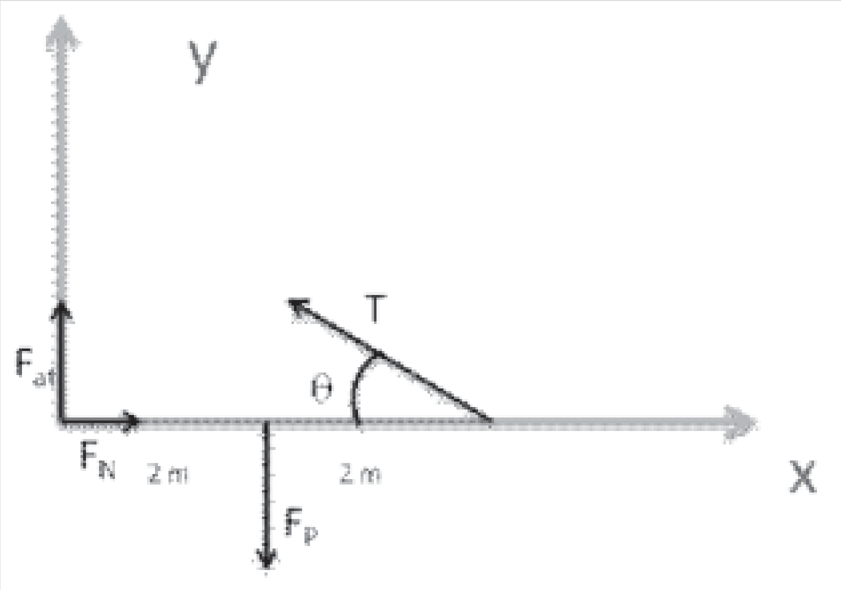
A resposta é simples, mas vamos enrolar um pouquinho. Como gosto de ser chato, vou colocar a origem sobre o cano e a um metro de distância do poste! Veja a figura:



Gostaram? Vamos então, cuidadosamente determinar os torques. Vamos também convencionar que o torque será positivo se a força tiver uma componente que vá no sentido anti-horário. Comecemos com a F_{at}. A reta que a une ao centro de coordenadas tem um metro de comprimento. Como a F_{at} é perpendicular a esta reta, então toda ela participa do torque e tem sinal negativo por tentar fazer o cano girar no sentido horário. Vamos então nomeá-la: $\tau_{F_{at}} = -1 \times F_{at}$. Vejamos agora a força peso: a reta que a une à origem também tem um metro de comprimento e é perpendicular à força. A força peso também tenta fazer o cano girar no sentido horário, o que faz com que receba um sinal negativo. Podemos então escrever: $\tau_{F_P} = -1 \times F_P$. Analisemos agora a força normal. Note que ela é paralela à reta que une o seu ponto de aplicação à origem. Sendo assim, o seu torque é zero. Ficamos agora com a última força que é a tração. A tração tem duas componentes: uma vertical, *Tsenq,* e uma horizontal, *Tcosq*. Como a horizontal é paralela à reta que une a força à origem, então ela não tem torque. A componente vertical por outro lado tem um torque dado por: $\tau_T = 3 \times Tsen\theta$. Podemos agora impor a segunda condição de equilíbrio:

$$\sum \tau = \tau_{F_{at}} + \tau_{F_N} + \tau_{F_P} + \tau_T = 0 = -F_{at} - F_P + 3Tsen\theta$$
$$= -0{,}3F_N - 120 + 3Tsen\theta$$

Este é um sisteminha de três equações e três variáveis de fácil solução, cujo resultado final indica que $\theta \sim 17^o$. Antes de prosseguir vamos realçar um ponto: Foi uma boa idéia colocar o sistema de referência onde o colocamos? Não. Observe uma outra escolha na figura abaixo:

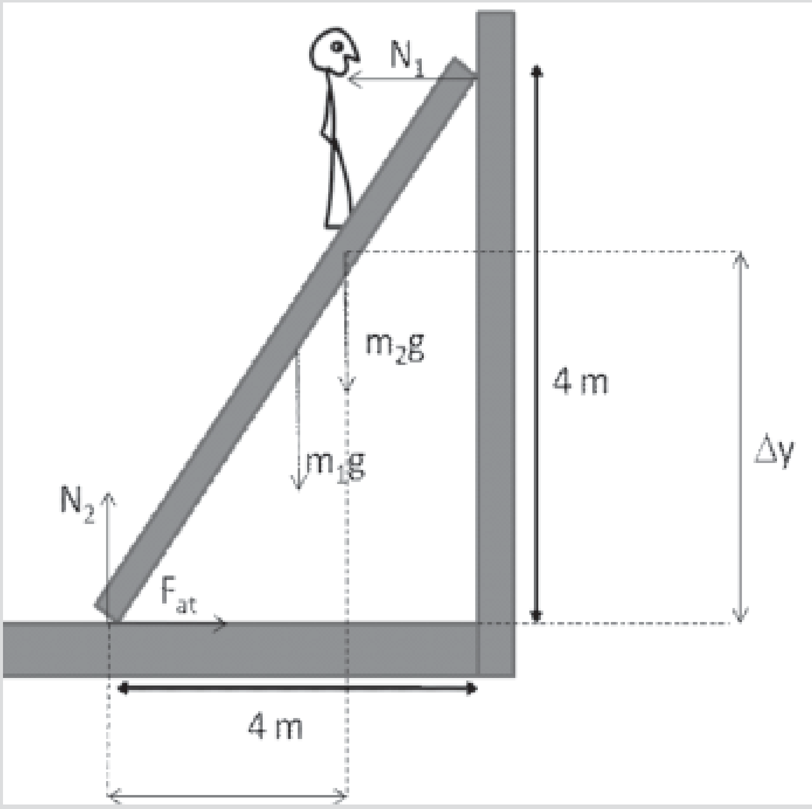


Tudo que fizemos foi deslocar o sistema de referência para um ponto mais adequado. Note que a força Normal e a de Atrito não apresentam torque. A segunda condição de equilíbrio se torna simplesmente:

$$\sum \tau = F_P - Tsen\theta = 0$$

Voltamos assim a um sistema de três equações e três incógnitas, mas de resolução sensivelmente mais fácil.

3. No desenho abaixo ilustramos o problema e o diagrama de forças;

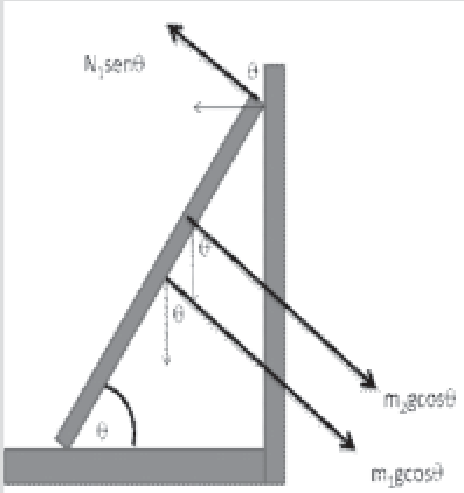


Como o que queremos saber é a posição da pessoa sobre a escada, precisamos determinar Δx e Δy que mantém o sistema em equilíbrio. Utilizando a primeira condição de equilíbrio e a condição de que a escada está prestes a escorregar:

$$\sum F_x = F_{at} - N_1 = 0 \rightarrow \mu N_2 = N_1$$

$$\sum F_y = N_2 - m_1 g - m_2 g \rightarrow N_2 = (m_1 + m_2) g$$

Para aplicar a segunda condição de equilíbrio precisamos agora escolher qual a origem do sistema de referência mais adequado. Este ponto geralmente coincide com aquele onde aparecem mais forças. Vamos utilizar este detalhe para colocar a origem sobre o ponto onde a escada toca o chão. Para facilitar a visualização das forças, vejamos um segundo desenho:



Para compreender as forças e as distâncias envolvidas é necessário comparar os dois desenhos. Utilizando a mesma convenção de que torques no sentido horário são positivos e que *sen*θ=*4/5* e *cos*θ=*3/5*:

$$\sum \tau = (m_1 g cos\theta) \times \left(\frac{l}{2}\right) + (m_2 g cos\theta) \times \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} - (N_1 sen\theta) \times l = 0$$

Para facilitar a visualização chamamos o comprimento da escada de *l* e este vale 5 metros. Para designar a distância entre a origem e o ponto onde o homem está parado utilizamos o teorema de Pitágoras, mas há uma maneira mais fácil. Se chamarmos esta distância de Dz, obtemos: $sen\theta = \frac{\Delta y}{\Delta z} \rightarrow \Delta z = \Delta y / sen\theta$. Substituindo agora todos os valores de que dispomos chegamos ao seguinte sistema de equações:

$$\mu N_2 = N_1 \rightarrow 0,4 \times N_2 = N_1$$
$$N_2 = (m_1 + m_2)g \rightarrow N_2 = (12 + 58) \times 9,8 = 686\ N$$

Substituindo esta última na anterior:

$$N_1 = 0,4 \times 686 = 274,4\ N$$

Finalmente, na última das equações:

$$(m_1 g cos\theta) \times \left(\frac{l}{2}\right) + (m_2 g cos\theta) \times \Delta y / sen\theta - (N_1 sen\theta) \times l = 0$$
$$12 \times 9,8 \times \frac{3}{5} \times 5/2 + 58 \times 9,8 \times \frac{3}{5} \times \left(\frac{\Delta y}{\frac{4}{5}}\right) - 274,4 \times 5$$

O resultado desta conta é $Dy=2,16m$. Utilizando agora uma simples relação trigonométrica chegamos a $Dx=1,62m$.

CONCLUSÃO

Quando passamos de sistemas discretos para sistemas contínuos nos aproximamos da realidade. Esta aproximação tem um custo: os cálculos ficam mais complicados, mas ainda passíveis de solução com a aplicação das leis de Newton. Vimos que mesmo sem a utilização de álgebra vetorial avançada foi possível a utilização do conceito de torque e sua influência nas condições de equilíbrio. Apesar de parecer um tema quase exclusivo da Engenharia, pudemos ver em ao menos um exemplo como este conhecimento pode ter utilidade nas ciências biológicas, particularmente no sistema músculo-esquelético.

RESUMO

Nesta aula foram abordados os seguintes temas:
· Torque (ou momento de uma força);
· Localização do centro de massa;
· Identificação do centro de massa com o centro de gravidade;
· Condições de equilíbrio estático
Resolução de exercícios

PRÓXIMA AULA

Na próxima aula estudaremos como estas forças e torques podem deformar os corpos. Veremos que qualidades tais como dureza, resiliência e elasticidade podem ser mensuradas experimentalmente permitindo a construção de bancos de dados utilizados pelas indústrias.

REFERÊNCIAS

GIANCOLI, Douglas C. **Physics for Scientists and Engineers**, 3 ed. Editora Prentice Hall, New Jersey, 2000.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física I – Mecânica**, 10 ed. Tradução de Adir Moysés Luiz. Editora Addison Wesley, São Paulo, 2003.

FREDERICK, J. Keller; GETTYS, W. Edward; SKOVE, Malcolm J. **Física**, v. 1, 1 ed. Tradução de Alfredo Alves de Farias. Editora Makron Books, São Paulo, 1997.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; KRANE, Kenneth S. **Física 1**, 5 ed. Tradução de Pedro M. C. L. Pacheco, Marcelo A. Savi, Leydervan S. Xavier, Fernando R. Silva. LTC Editora, Rio de Janeiro, 2003.