AULA

6

Empurra e puxa

Domingo, Gaspar reúne a família para "uma voltinha de carro". Ele senta ao volante e dá a partida. Nada. Tenta outra vez e nada consegue. Diz então para todos: "O carro não quer pegar. Vamos dar uma **força**!"

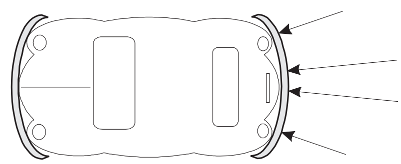


Figura 1

Essa é uma situação na qual o conceito de força empregado em situações do dia-a-dia coincide com o **conceito físico de força**. O que Gaspar queria dos outros membros da família era que empurrassem o carro. Quando empurramos ou puxamos um objeto dizemos que estamos exercendo **uma força** sobre ele. A família estava **exercendo uma força** sobre o carro.

Existem situações em que podemos exercer uma força sobre um objeto sem tocá-lo diretamente. Por exemplo, quando aproximamos um ímã de outro (Figura 2), este segundo vai ser atraído ou repelido pelo primeiro. Então, um ímã está exercendo uma força sobre o outro sem a necessidade de tocá-lo.

A força gravitacional é uma força desse tipo. Ela atua à distância. É ela que mantém a Terra girando em torno do Sol, ou a Lua girando em torno da Terra. Existem outras forças que atuam à distância. O movimento dos elétrons em torno do núcleo dos átomos é conseguido graças à força elétrica de atração que existe entre os elétrons e os prótons localizados no núcleo atômico.

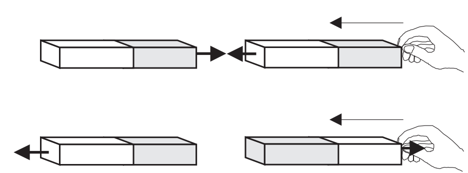


Figura 2

A força é um vetor

Vamos voltar ao caso do carro. Cada uma das pessoas estava exercendo uma força. Essa força poderia ser maior ou menor dependendo da pessoa que estava exercendo a força. Mas a força é uma grandeza; para conhecê-la completamente, não basta dizer quanto ela vale.

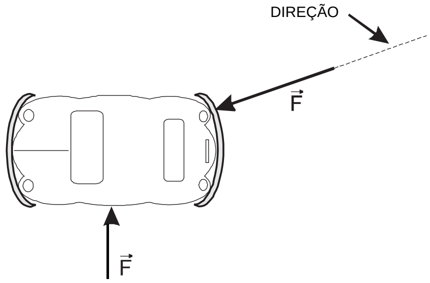


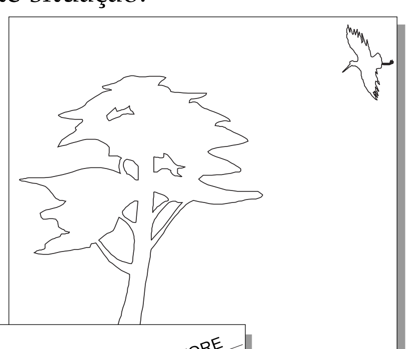
Figura 3

Uma força de mesma intensidade poderia causar um efeito muito diferente se estivesse sendo aplicada numa outra direção. Por exemplo, se alguém empurrasse o carro, pela porta, ou por sua parte traseira, os resultados seriam diferentes. Mesmo que indicássemos o valor da força e qual sua direção, a força não estaria ainda bem definida. Na Figura 1, aparece a direção de uma das forças aplicadas no carro. Está indicado, também, que a força está atuando no sentido de empurrar o carro. Todavia, poderíamos ter uma força que estivesse atuando na mesma direção, mas puxando o carro. Toda grandeza que necessite que digamos qual é seu **valor** (também chamado **módulo**), qual sua **direção** e qual seu **sentido,** para que fique bem definida, é chamada **grandeza vetorial**. Assim, a força é uma grandeza vetorial. Em geral representamos uma grandeza vetorial colocando-se uma pequena seta sobre a letra que indica esse vetor, por exemplo, quando tratamos de força podemos escrever $\vec{F}$ e ler **"vetor força".** Se quisermos falar apenas do valor (do módulo), usaremos apenas a letra F.

Já estudamos algumas grandezas que também são vetoriais como por exemplo, deslocamento, velocidade e aceleração.

Porém, nos casos estudados, a direção e o sentido eram conhecidos. Então, não era necessário fazer um estudo vetorial dos movimentos. Porém, considere a seguinte situação:

Figura 5



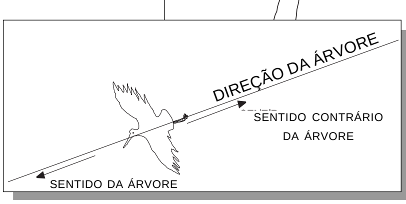


Figura 4

Um pássaro está a 300 m de uma árvore, voando com velocidade de 15 m/sSe o pássaro voar em linha reta, depois de quanto tempo vai chegar à árvore? Ora, isso não vai depender apenas do valor da velocidade. É necessário que o pássaro esteja voando na **direção da árvore**. Caso contrário, ele não vai chegar nunca! Mesmo voando na direção da árvore, ele poderia estar voando no sentido contrário e também nunca chegar.

Medindo forças

Como medir forças? Uma força, como vimos, pode ser associada a um empurrão ou a um puxão. Vimos também que para medirmos uma grandeza precisamos de um padrão. O que seria um "puxão-padrão"? Lembre-se de que os padrões devem ser bem definidos para que outras pessoas possam reproduzir outros iguais. Vamos ver como podemos estabelecer esse "puxão-padrão". A Terra atrai os objetos de maneira distinta. Quanto maior a massa do objeto, maior é a força de atração. Foi pensando nisso que inicialmente se adotou o **quilograma-força**, que é a força com que a Terra atrai um objeto cuja massa é 1 quilograma. Se você estiver segurando um objeto de 1 quilo, você estará fazendo uma força de 1 quilograma-força.

Uma vez definido o padrão, precisamos de um instrumento que seja capaz de comparar o padrão com outras forças. Esse instrumento é chamado **dinamômetro**. Os dinamômetros são, na verdade, molas. Se pendurarmos um objeto qualquer numa mola presa num suporte, a mola vai sofrer uma deformação (ela vai distender). Baseados nesse princípio, podemos medir forças comparando-as com um padrão – o **quilograma-força**. O quilograma-força não é uma unidade do Sistema Internacional. A unidade de força do Sistema Internacional de Unidades é o **newton** (N), que definiremos em um capítulo pouco mais adiante.

A lei de Hooke

Uma massa de 1 kg está presa a uma mola suspensa num suporte. Enquanto a massa é mantida pela mão, a mola não apresenta deformação.

Porém, quando a massa é solta, a mola vai "espichar". Sabendo qual foi o alongamento da mola, podemos estabelecer uma relação entre a força de 1 kgf e a força que desejamos medir.

Cada mola se comporta de uma maneira. Umas esticam muito, outras menos. Foi Robert Hooke quem descobriu a lei (que leva seu nome) que afirma que, dentro de certos limites, **existe uma proporcionalidade direta entre a força aplicada numa mola e sua deformação**. Ou seja, quanto mais coisas pendurarmos na mola, mais ela se alongará.

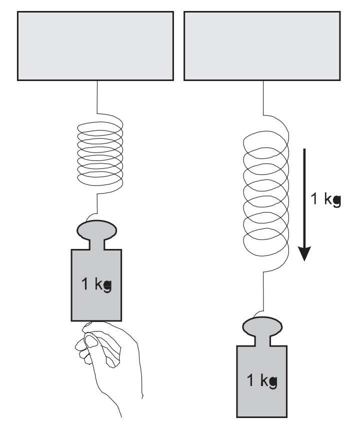


Figura 6. O dinamômetro

Você pode verificar a lei de Hooke de uma maneira simples. Para isso, vai precisar de uma espiral de plástico, dessas que são usadas para encadernação de folhas de xerox. Uma espiral de caderno também serve. Pendure a espiral num suporte e um saco plástico vazio na outra extremidade da espiral, como mostra a Figura 7. A espiral do caderno vai atuar como uma mola e, com ela, vamos verificar a lei de Hooke.

A idéia é ir introduzindo água dentro do saco plástico e medir a deformação da mola cada vez que uma certa quantidade de água é introduzida. Para isso, precisamos saber que quantidade de água estamos colocando dentro do saco plástico. Um litro de água tem uma massa de 1 kg. Assim, se colocarmos 200 cm^3 de água dentro do saco, estaremos colocando 0,2 kg, que, por sua vez, puxará a mola com uma força de 0,2 kgf. Essa força vai provocar um alongamento da mola.

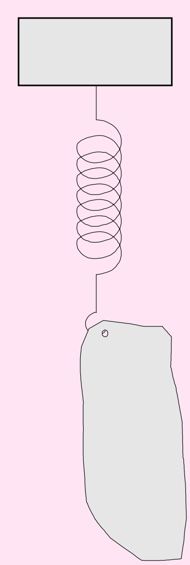


Figura 7

Em geral, chamamos esse alongamento de **Δx**. Assim, a extremidade da mola vai deslocar-se **Δx**. Quando colocamos 0,2 kg de água dentro do saco de plástico, a força exercida é de 0,2 kgf. Introduzindo-se várias vezes essa mesma quantidade de água, e anotando-se as distensões, você poderá obter uma tabela semelhante à Tabela 1 e construir o gráfico correspondente.

F (kgf)

Δ x (m)

Figura 8

TABELA 1

Δ	F (kgf)
0,1	0,2
0,2	0,4
0,3	0,6
0,4	0,8
0,5	1,0
0,6	1,2
0,7	1,4

Analisando-se os dados, verifica-se que existe uma proporcionalidade entre a força exercida na mola e a distensão dessa mola. Podemos escrever:

$$F = k \cdot \Delta x$$

O valor de **k** depende do material com que é feita a mola. O valor de **k** é:

$$k = \frac{F}{Dx}$$ e sua unidade será kgf/m.

No nosso caso, k = 2 kgf/m. Isso significa que, se pendurarmos 2 kg na mola, ela vai sofrer uma distensão de 1 m.

Esse valor **k** é denominado **constante elástica da mola**. Molas com valores de **k** muito grandes são muito resistentes, portanto muito duras.

É dessa maneira que podemos comparar forças e medi-las. Em primeiro lugar, calibramos uma mola, isto é, verificamos quanto ela se alonga quando penduramos nela objetos de massa conhecida. Depois, podemos pendurar um objeto na mola e saber quantos quilogramas ele tem. Esse é o processo usado para fabricar uma balança de peixeiro (Figura 9).

À esquerda, vemos a mola existente no interior da balança. À direita podem ser vistos o índice e a escala, que marcam quantos quilogramas foram pendurados no gancho.

A mola que analisamos não serviria para uma balança de peixeiro normal, pois, se pendurássemos um peixe de 2 kg, a mola, como vimos, iria se alongar 1 m.

Figura 9
Balança de peixeiro

Somando forças

Dois grupos de garotos estão brincando de cabo de guerra (Figura 10). Se cada um dos lados estiver fazendo a mesma força sobre a corda, o jogo está empatado. Nenhum dos grupos, nem a corda, vai sair do lugar.

Figura 10

Se chamarmos as forças de $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, poderemos representar a soma dessas duas forças da seguinte maneira:

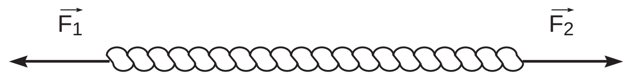


Figura 11

Vamos supor que de cada lado estivesse sendo feita uma força de 50 kgf. Nesse caso, a soma das forças será zero. Se quiséssemos representar somente as forças, deixando de lado a corda, ficaríamos com:

Figura 12

Porém, o que aconteceria se de um dos lados estivesse sendo feita uma força maior? Se, por exemplo, F_1 = 50 kgf e F_2 = 60 kgf. Nesse caso, o esquema que representa a soma das forças seria o da Figura 13.

Figura 13

Note que o vetor que representa a força $\vec{F}_2$ tem comprimento maior do aquele de $\vec{F}_1$. As duas forças têm a mesma direção mas seus sentidos são contrários. No caso, a força que representa a soma de $\vec{F}_1$ com $\vec{F}_2$, também chamada **força resultante** $\vec{F}_R$, terá valor de 10 kgf e apontará para a direita. Isso porque o lado 1 puxa a corda com 50 kgf e o lado 2 puxa com 60 kgf.

Representamos essa força tal como está na Figura 13. A direção de $\vec{F}_R$ é a mesma de $\vec{F}_1$ ou de $\vec{F}_2$, mas seu sentido é o de $\vec{F}_2$, pois $\vec{F}_2$ é a força maior entre as duas.

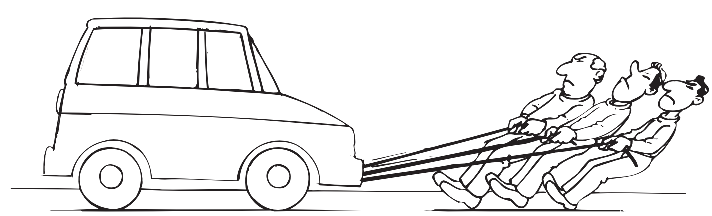


Figura 14

Vamos supor que três pessoas estejam puxando um carro na mesma direção e no mesmo sentido e que essas forças tenham valores F_1 = 30 kgf, F_2 = 40 kgf e F_3 = 45 kgf.

O valor da força resultante F_R será: 30 kgf + 40 kgf + 45 kgf = 115 kgf. A direção e sentido de $\vec{F}_R$ serão os mesmos de $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$.

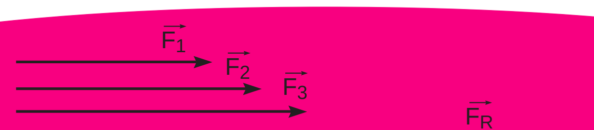


Figura 15

Finalmente, vamos considerar o caso em que as forças não tenham a mesma direção. Foi Newton quem introduziu a noção de adicionar vetores nesse caso. Voltando ao exemplo do início, suponhamos que duas pessoas estejam puxando um carro com duas forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, ao mesmo tempo. As direções de $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ formam um ângulo de 90º e vamos supor que seus valores sejam 40 kgf e 30 kgf. Para se obter o valor da força resultante $\vec{F}_R$, procedemos da seguinte maneira: traçamos, na extremidade de $\vec{F}_1$ uma paralela à $\vec{F}_2$, e uma paralela à $\vec{F}_2$, na extremidade de $\vec{F}_1$. Dessa maneira formamos um paralelogramo. Nesse caso, o paralelogramo é um retângulo. A diagonal desse retângulo representa o vetor $\vec{F}_R$ que procuramos. Para calcular o valor da força resultante $\vec{F}_R$, que queremos encontrar, basta determinar a diagonal do retângulo, usando a relação de Pitágoras:

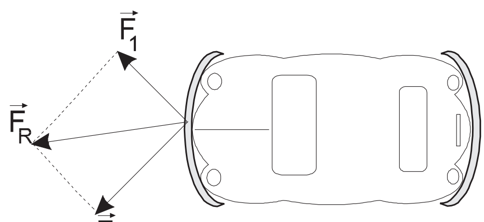


Figura 16

$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2$$

No exemplo, ficamos com:

$$F_R^2 = 40^2 + 30^2$$

$$F_R^2 = 1.600 + 900 = 2.500$$

$$F_R = 50 \text{ kgf}$$

Ainda um pouco mais

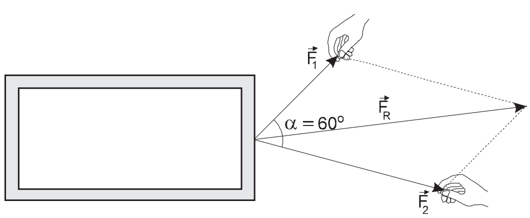


Figura 17

Suponha que uma caixa esteja sendo arrastada por duas forças que formam entre si um ângulo a de 60º. e cujos valores sejam: F_1 = 3 kgf e F_2 = 5 kgf. Qual será o valor da força resultante $\vec{F}_R$? O procedimento para obter a direção e o sentido da força resultante é o mesmo. Traçamos dois segmentos paralelos a $\vec{F}_1$ e a $\vec{F}_2$, e obtemos um paralelogramo. A diagonal desse paralelogramo dá a direção e sentido da resultante, e o valor pode ser obtido matematicamente, da seguinte maneira:

$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos a$$

onde α é o ângulo entre as forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$

No nosso exemplo, teremos:

$$F_R^2 = 3^2 + 5^2 + 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \cos 60°$$
$$F_R^2 = 9 + 25 + 30 \cdot \left(\tfrac{1}{2}\right)$$
$$F_R^2 = 9 + 25 + 15$$
$$F_R^2 = 49$$
$$F_R = 7 \text{ kgf}$$

Se uma força de 7 kgf fosse aplicada na caixa, na direção indicada na Figura 17, teria o mesmo efeito que as duas forças, $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$. Se, por acaso, existissem mais forças, poderíamos ir somando, duas a duas, até obter uma resultante final. Porém, podemos atuar de uma outra maneira.

Decompondo forças

Um objeto está sendo puxado por uma força $\vec{F}$, que forma um ângulo α com a horizontal. É claro que, se essa força tivesse o mesmo valor e estivesse na horizontal, conseguiríamos arrastar o bloco mais facilmente.

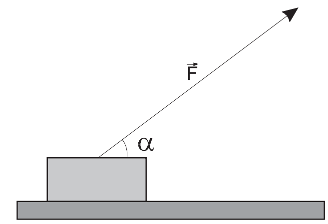


Figura 18

Decompondo essa força podemos entender melhoro porquê disso. Vamos colocar um sistema de eixos cartesianos de maneira tal que a força esteja na sua origem. Se, da extremidade da força $\vec{F}$, traçarmos perpendiculares aos eixos, como está mostrado na Figura 19, podemos construir os vetores $\vec{F}_x$ e $\vec{F}_y$ que são chamados componentes do vetor $\vec{F}$. O nome componente vem do fato de que, se somarmos os vetores $\vec{F}_x$ e $\vec{F}_y$, obteremos o vetor $\vec{F}$, ou seja, $\vec{F}$ atua da mesma maneira que $\vec{F}_x$ e $\vec{F}_y$ somados. O que ocorre é que uma parte do vetor $\vec{F}$, $\vec{F}_x$ tende a arrastar o bloco, enquanto que a outra $\vec{F}_y$ tende a levantar o bloco.

Figura 19

Para calcular os valores de $\vec{F}_x$ e $\vec{F}_y$, utilizamos o triângulo ABC e as relações trigonométricas. Temos:

$$F_x = F \cdot \cos\alpha$$
$$F_y = F \cdot \operatorname{sen}\alpha$$

Lembre-se de que, como estamos tratando apenas dos **valores**, não colocamos a seta sobre as letras que indicam as forças.

Vamos usar o método da decomposição de forças para somar as forças representadas na Figura 20. Temos duas forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ cujos valores são 6 kgf e 5 kgf. As direções de $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ formam ângulos de 60 e 30 graus com o eixo x.

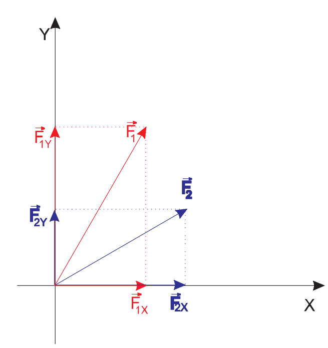


Figura 20

As componentes de $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ podem ser calculadas facilmente:

No final desta aula, você encontrará uma tabela com os valores do seno e do co-seno dos principais ângulos.

$$F_{1X} = 6 \cdot \cos 60^o = 3{,}00 \text{ kgf}$$

$$F_{2X} = 5 \cdot \cos 30^o = 4{,}33 \text{ kgf}$$

$$F_{1Y} = 6 \cdot \operatorname{sen} 60^o = 5{,}20 \text{ kgf}$$

$$F_{2Y} = 5 \cdot \operatorname{sen} 30^o = 2{,}50 \text{ kgf}$$

Se chamarmos de F_X e F_Y as componentes da força resultante $\vec{F}_R$, podemos escrever:

$$F_X = F_{1X} + F_{2X} = 3{,}00 + 4{,}33 = 7{,}33 \text{ kgf}$$

$$F_Y = F_{1Y} + F_{2Y} = 5{,}20 + 2{,}50 = 7{,}70 \text{ kgf}$$

Agora podemos calcular a resultante propriamente dita:

$$F_R^2 = F_X^2 + F_Y^2$$

$$F_R^2 = (7,33)^2 + (7,70)^2$$

$$F_R^2 = 113,02$$

$$F_R^2 = 10,63 \text{ kgf}$$

Podemos calcular diretamente o valor de $\vec{F}_R$, usando a relação:

$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha$$

Figura 21

para provar que os resultados vão ser os mesmos. Teremos:

$$F_R^2 = 6^2 + 5^2 + 2 \cdot 6 \cdot 5 \cdot \cos 30^o$$

$$F_R^2 = 36 + 25 + 60 \cdot (0,87)$$

$$F_R^2 = 112,96$$

$$F_R = 10,63 \text{ kgf}$$

Parece que o método de usar as componentes é muito mais difícil e trabalhoso do que o "método do paralelogramo". Porém, veremos na próxima aula que os componentes de um vetor vão nos auxiliar bastante em cálculos que envolvem forças.

PARA TERMINAR

Nesta aula você aprendeu:

- que a **força** é um vetor;
- que, para caracterizar um vetor, necessitamos de:
  um valor (módulo);
  uma direção;
  um sentido;
- a medir uma força usando um dinamômetro;
- que, para somar vetores, usamos a regra de paralelogramo;
- a decompor uma força nos seus componentes **x** e **y**.

TABELA SENO E CO-SENO (PRINCIPAIS ÂNGULOS)					
α	0^o	30^o	45^o	60^o	90^o
sen α	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
cos α	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0

$$\frac{1}{2} = 0,5 \qquad \frac{\sqrt{2}}{2} \cong 0,71 \qquad \frac{\sqrt{3}}{2} \cong 0,87$$

Exercício 1

Se pendurarmos um ovo de galinha numa mola, ele exercerá, aproximadamente, uma força de 0,5 N sobre a mola. Pendurando vários ovos, podemos montar a Tabela 2.

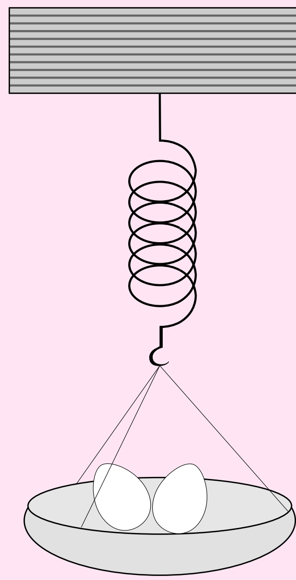


TABELA 2	
NÚMERO DE OVOS	DISTENSÃO DA MOLA
2	2 cm
4	4 cm
6	6 cm
8	8 cm
10	10 cm

Agora, responda:

a) Qual o valor da constante elástica da mola em N/cm?

b) Qual a distensão da mola, quando colocamos duas dúzias de ovos na cesta?

c) Qual seria a força exercida na mola pelas duas dúzias de ovos?

Exercício 2

Temos duas forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ com valores de 8 kgf e 6 kgf. Qual o valor da resultante dessas duas forças nos seguintes casos:

a) $\vec{F}_1$ tem direção norte-sul e sentido "para o norte".
$\vec{F}_2$ tem direção norte-sul e sentido "para o norte".

b) $\vec{F}_1$ tem direção norte-sul e sentido "para o sul".
$\vec{F}_2$ tem direção norte-sul e sentido "para o norte".

c) $\vec{F}_1$ tem direção norte-sul e sentido "para o norte".
$\vec{F}_2$ tem direção leste-oeste e sentido "para o leste".

Exercício 3

Duas forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ têm módulos 10 kgf e 20 kgf. Elas formam entre si um ângulo de 45º. Determine o valor da força resultante.

Exercício 4.

Decomponha uma força de 50 kgf, que forma um ângulo de 45º com o eixo dos **x**.

Exercício 5.

Duas forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ têm módulos de 30 kgf e 50 kgf. Elas formam entre si um ângulo de 60º. Calcule o valor da resultante, diretamente e, em seguida, utilizando os componentes dessas forças.