Ensino Médio

**Momento e Equilíbrio**

**Disciplina(s)/Área(s) do Conhecimento:**

Física

**Competência(s) / Objetivo(s) de Aprendizagem:**

* Estudar o conceito de momento de uma força;
* Compreender as condições para o equilíbrio rotacional de um corpo extenso.

**Conteúdos:**

* Leis de Newton;
* Momento de uma força ou torque.

**Palavras**-**Chave:**

Torque. Equilíbrio.

**Previsão para aplicação:**

4 aulas (50 minutos/aula)

**Para organizar o seu trabalho e saber mais:**

Recomenda-se que o/a professor/a acesse algum material preliminar para conhecer um pouco mais sobre Momento e Equilíbrio:

* *“Divulgação científica no* ensino de Física: Torque e Momento angular*”.* Disponível em: < <http://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalago/15304315102012Instrumentacao_para_o_Ensino_de_Fisica_I_Aula_8.pdf> >. Acesso em: 18 de setembro de 2018.
* “*Construção do conceito de ‘momento de uma força a partir de experimentos relacionados ao cotidiano”*. Disponível em: < <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol9/Num1/torque.pdf> >. Acesso em: 18 de setembro de 2018.
* *“Alguns aspectos da Física Mecânica e Dança: procedimentos* técnico-criativos*”*. Disponível em: < <http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/viewFile/31176/17364> >. Acesso em: 18 de setembro de 2018.

**Proposta de Trabalho**

**1ª Etapa:** Início de conversa

O tema da aula envolve o conceito de momento e equilíbrio. Antes de iniciar com formulações teóricas, é importante que o/a professor/a apresente exemplos do cotidiano que envolvam o conceito de momento e equilíbrio, assim como estimular a participação dos alunos para que deem outros exemplos.

Para essa aula, os alunos utilizarão o Objeto Virtual de Aprendizagem (OVA) *Balançando,* elaborado pela *PhET Interactive Simulations,* disponível em: < <https://phet.colorado.edu/sims/html/balancing-act/latest/balancing-act_pt_BR.html> >. Este OVA possui três opções de manuseio: Introdução, Laboratório de Equilíbrio e Jogo (FIGURA 1).

|  |
| --- |
|  |

**Figura 1**. Tela inicial do OVA *Balançando*.

**2ª Etapa:** Introdução

Na primeira opção de manuseio será possível entender o funcionamento do OVA. Sugere-se que se inicie pela investigação do movimento de uma gangorra: a) em equilíbrio (FIGURA 2A), em torno de seu eixo de rotação; b) quando alguma massa é colocada sobre o lado direito do ponto de referência, a gangorra pode girar no sentido horário (FIGURA 2B); c) caso a massa seja colocada no lado esquerdo, o sentido da rotação será anti-horário (FIGURA 2C). Se faz necessário que o/a professor/a delimite o conceito de equilíbrio, pois, nessa aula, trabalharemos com o equilíbrio rotacional.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| **A** | **B** | C |

**Figura 2**. Gangorra: A – em equilíbrio; B – com movimento horário; C – com movimento anti-horário.

Em seguida, o/a professor/apoderá propor o *Desafio do Equilíbrio*. Nesse atividade, os estudantes serão desafiados a equilibrar a gangorra em dois casos: 1) usando objetos de mesma massa; 2) usando dois objetos de massa diferente; 3) usando três objetos.

Por tentativas e erros, os alunos chegarão nos casos ilustrados na Figura 3. Para equilibrar dois objetos de mesma massa, é preciso que eles sejam colocados na mesma distância do eixo de rotação da gangorra (FIGURA 3A). Já no caso das Figuras 3B e 3C, o equilibrio é obtido posicionando adequadamente objetos de massas diferentes, em diferentes distâncias do eixo rotacional.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| **A** | **B** | C |

**Figura 3**. Exemplificação do *Desafio do Equilíbrio*: A – com dois objetos de massas iguais; B – com dois objetos de massas diferentes; C – com três objetos.

**3ª Etapa:** Calculando Momento

Na primeira aula, os alunos usaram o OVA para trabalhar com o conceito de equilíbrio de forma intuitiva. Os estudantes foram capazes de inferir que, quando a gangorra permanece em equilı́brio, ela não gira nem no sentido horário, nem no anti-horário. Além disso, constataram que para equilibrar os objetos era preciso manipular duas variáveis: massa e distância.

Nessa segunda aula, a turma passará a receber orientação do/a professor/a, explorando a formulação teórica e racionalização matemática dos fenômenos de Momento e Equilíbrio. Para isso, o/a professor/a poderá usar a opção de manuseio *Laboratório de Equilíbrio* (Figura 4).

|  |
| --- |
|  |

**Figura 4**. Tela inicial da modalidade *Laboratório de Equilíbrio*.

A grandeza física associada ao movimento de rotação de um determinado corpo em razão da ação de uma força é denominada torque (ou momento), o qual é definido como o produto da força F aplicada pela distância que separa o ponto de aplicação dessa força ao eixo (1).

|M| = F · d (1)

Para explicar como que se calcula o Momento, o/a professor/a precisará selecionar no OVA a opção “régua”. Com essa ferramenta é possível medir a distância do eixo ao local de aplicação da força.

Outro ponto importante é apontar o motivo pelo qual o cálculo do momento é realizado em módulo e porque o sinal é determinado posteriormente ao cálculo. Para isso, o/a professor/a poderá adotar uma convenção como a que é explicada aos 9 min e 10s desse vídeo: < <https://www.youtube.com/watch?v=hWfXwF2MsOs> >. Em suma, é adotada a seguinte notação: se a rotação for no sentido horário, o momento ou torque será negativo mas, se a rotação for no sentido anti-horário, o momento ou torque será positivo.

A partir da situação ilustrada na Figura 5, pode-se exemplificar o procedimento do cálculo de momento.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **A** | **B** |

**Figura 5**. Situação para exemplificar o cálculo de Momento. A – a rotação será no sentido anti-horário; B - a rotação será no sentido horário.

CASO A[[1]](#footnote-1): m = 15kg; d = 1,5m; rotação no sentido anti-horário

|M| = F · d

|M| = m · g · d

|M| = 15 · 10 · 1,5 = 225 N.m

M = + 225 N.m (positivo porque a rotação será no sentido anti-horário)

CASO B: m = 20kg; d = 1,25m; rotação no sentido horário

|M| = F · d

|M| = m · g · d

|M| = 20 · 10 · 1,25 = 250 N.m

M = - 250 N.m (negativo porque a rotação será no sentido horário)

Com a situação ilustrada na Figura 6, pode-se exemplificar o procedimento do cálculo de momento quando colocado mais de um objeto. Para isso, basta somar os momentos que cada força aplica, conforme expresso em (2).

Mtotal = F1d1 + F2d2 + . . . + Fndn (2)

|  |
| --- |
|  |

**Figura 6**. Dois objetos na gangorra.

Observe que, na Figura 6, foram colocados dois objetos na gangorra. No lado esquerdo, um objeto de 15kg a 1,5m de distância do eixo de rotação e, no lado direito, um objeto de 20kg a 0,75m de distância do eixo de rotação. A primeira etapa é calcular os momentos individuais e depois somá-los.

- Objeto do lado esquerdo

|M| = F1 · d1

|M| = m · g · d

|M| = 15 · 10 · 1,5 = 225 N.m

M1 = + 225 N.m (positivo porque, caso estivesse sozinho, a rotação seria no sentido anti-horário)

- Objeto do lado direto

!M| = F2 · d2

|M| = m · g · d

|M| = 20 · 10 · 0,75 = 150 N.m

M2 = - 150 N.m (negativo porque, caso estivesse sozinho, a rotação seria no sentido horário)

- Cálculo do momento total

Mtotal = F1d1 + F2d2

Mtotal = +225 + (-150) = +225 - 150 = + 75

Como o resultado do momento total é positivo, todo o sistema está rotacionando no sentido anti-horário, o que corrobora a convenção que é adotada.

**4ª Etapa:** Equilíbrio rotacional

Veja um caso especial, o equilíbrio rotacional, isto é, quando a gangorra não rotaciona no sentido horário, nem no sentido anti-horário (Figura 7).

|  |
| --- |
|  |

**Figura 7**. Um caso de equilíbrio rotacional.

* Objeto 1 → m = 15kg; d = 1,5m; rotação: sentido anti-horário (caso estivesse sozinho)

|M| = F1 · d1

|M| = m · g · d

|M| = 15 · 10 · 1,5 = 225 N.m

M1 = + 225 N.m

* Objeto 2 → m = 20kg; d = 0,75m; rotação: sentido horário (caso estivesse sozinho)

|M| = F2 · d2

|M| = m · g · d

|M| = 20 · 10 · 0,75 = 150 N.m

M2 = - 150 N.m

* Objeto 3 → m = 5kg; d = 1,5m; rotação: sentido anti-horário (caso estivesse sozinho)

|M| = F3 · d3

|M| = m · g · d

|M| = 5 · 10 · 1,5 = 75 N.m

M3 = - 75 N.m

- Cálculo do momento total

Mtotal = F1d1 + F2d2 + F3d3

Mtotal = +225 + (-150) + (-75) = +225 – 150 - 75 = + 75

Mtotal = +225 – 150 – 75

Mtotal = 0

A partir do exemplo da Figura 7, os estudantes ampliam seus conhecimentos, pois foi acrescido à percepção sensorial a racionalização física e matemática de que um sistema está em equilíbrio rotacional quando o momento total do for igual a zero.

**5ª Etapa:** O jogo

Para finalizar a aula, o/a professor/a poderá usar a opção de manuseio *Jogo* (FIGURA 8), para que os alunos pratiquem aquilo que aprenderam.

|  |
| --- |
|  |

**Figura 8**. Tela inicial da modalidade *Jogo*.

É possível jogar em 4 níveis de dificuldade, porém, as regras são basicamente duas: deverão colocar um objeto para equilibrar o sistema (FIGURA 9A) ou conferir se o sistema dado estará em equilíbrio ou se será rotacionado no sentido horário ou no sentido anti-horário (FIGURA 9B).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **A** | **B** |

**Figura 9**. Regras do jogo: A – Executar o equilíbrio; B – Responder o que acontece no sistema.

O/a professor/a deverá mediar a atividade de modo que os estudantes a executem por meio da formulação matemática e/ou do raciocínio lógico, ao invés da tentativa e erro. Um meio de fazer essa mediação seria realizando alguns jogos com a turma. Na Figura 10 é apresentado um exemplo do jogo e, logo em seguida, a resolução.

|  |
| --- |
|  |

**Figura 10**. Tela inicial da modalidade *Jogo*.

Para resolver esse problema, deve-se levar em consideração que, para formar o equilíbrio, o segundo objeto precisa ser colocado no lado oposto do primeiro objeto. Além disso, a soma dos momentos deve ser igual a zero. Logo:

Mtotal = F1d1 + F2d2

0 = 5 · 10 · 1 - 10 · 10 · d

0 = 50 - 100d

d = -50/-100

d = 0,5 m

Como são muitos jogos, cada aluno deverá continuar em casa.

**6ª Etapa:** Finalizando a discussão

Na sexta e última aula, o/a professor/a poderá questionar as dificuldades que a turma teve com o jogo. Além disso, poderá ser resolvido alguns exercícios de vestibular sobre o tema Momento. Seguem algumas sugestões com os respectivos gabaritos:

**1**. (IF-GO) O móbile é um modelo abstrato que tem peças móveis, impulsionadas por motores ou pela força natural das correntes de ar. Suas partes giratórias criam uma experiência visual de dimensões e formas em constante equilíbrio. O móbile foi inicialmente sugerido por Marcel Duchamp para uma exibição de 1932, em Paris, sobre certas obras de Alexander Calder, que se converteu no maior exponente da escultura móbile. A origem latina do termo móbile remete à ideia de "móbil", "movimento". A figura a seguir representa um tipo de móbile.

|  |
| --- |
|  |

Para que o equilíbrio do móbile ocorra, é necessário e suficiente que

a) as massas penduradas nas extremidades de cada haste sejam iguais.

b) a força resultante e o torque sobre cada uma das hastes sejam nulos.

c) a força resultante sobre cada haste seja nula.

d) o torque jamais seja nulo.

e) haja conservação da energia mecânica.

Resposta correta: B

**2**. (UFV) Um rapaz de 900 N e uma garota de 450 N estão em uma gangorra. Das ilustrações abaixo, a que representa uma situação de equilíbrio é:

|  |  |
| --- | --- |
| a) |  |
| b) |  |
| c) |  |
| d) |  |
| e) |  |

Resposta correta: B

**3**. (UFPE-PE) A figura representa a força aplicada na vertical, sobre uma chave de boca, por um motorista de caminhão tentando desatarraxar uma das porcas que fixa uma roda. O ponto de aplicação da força dista 15 cm do centro da porca e o módulo da força máxima aplicada é F = 400 N. Nesta situação, suponha que o motorista está próximo de conseguir desatarraxar a porca.

|  |
| --- |
|  |

Em seguida, o motorista acopla uma extensão à chave de boca, de forma que o novo ponto de aplicação da força dista 75 cm do centro da porca. Calcule o novo valor do módulo da força, F’, em newtons, necessário para que o motorista novamente esteja próximo de desatarraxar a porca.

Resposta correta:

Para conseguir desatarraxar a porca, só com a chave de 15 cm (0,15m):

|M| = F1 · d1

M1 = 400 · 0,15

M1 = 60 N.m

Então, quando colocarmos uma chave maior, de 75 cm (0,75 m), o momento angular tem que ser o mesmo para que consigamos girar a porca igualmente:

|M| = F2 · d2

M2 = F2 · 0,75

como M2 = M1

F2 · 0,75 = 60

F2 = 60/0,75

F2 = 80N

Plano de aula elaborado por Profº Me. Alexandre Araújo de Souza

1. Observação: no exercício, a força aplicada é a força peso, portanto: F = m · g; onde g é a aceleração da gravidade. [↑](#footnote-ref-1)