

A Física do Futebol
Mecânica

Introdução

Futebol é movimento. Chutes, dribles, arrancadas, cobranças de falta, todos esses itens são ingredientes básicos de uma boa partida de futebol, mas movimento também é uma peça fundamental para a Física, afinal de contas todos esses movimentos se encontram dentro de determinadas leis que conseguem descrever seus comportamentos, por mais estranhos que eles possam parecer á primeira vista.

Por isso misturar um pouco de física com futebol é algo que certamente é muito produtivo para o ensino, já que o futebol é um esporte com imensa popularidade principalmente em nosso país.

È importante citar que o foco deste projeto não é de construir um curso completo de mecânica tendo como plano de fundo o futebol, o que certamente é possível porém seria algo que demandaria muito tempo para ser concluído. Aqui serão apresentados alguns lances e curiosidades do futebol explicadas pelo ponto de vista físico, por conta disso é interessante para se tornar melhor compreendido pelo espectador ter um breve conhecimento de alguns conceitos da mecânica, obviamente que tudo que está presente no projeto será introduzido com explicações porém breves e direcionadas para o que se está apresentando.

Sendo assim este projeto pode ser apresentado como um material complementar de estudos para alunos para alunos que estejam vendo ou até mesmo já viram mecânica.

Movimentos da bola

Para dar inicio a este trabalho, nada melhor do que começar pela principal ferramenta pra o jogo de futebol, e conseqüentemente para nossos estudos a respeito dos movimentos do esporte, a bola.

Não se consegue ter muita certeza sobre os primórdios do futebol, embora historiadores tenham registros de jogos que utilizam a bola como objeto principal em muitas culturas antigas como China, Itália e Japão.

A bola geralmente era solida e feita com couro, madeira, pedra, crânio de animais , na idade média foram inventadas as primeiras bolas que quicavam.

A bola mais antiga já encontrada tem provavelmente 450 anos, ela foi encontrada em 1999 no castelo de Sterling, na Escócia. A bola era confeccionada com bexiga de porco e revestimento de couro.

Este revestimento em couro desde então começou a ser utilizado por conta de sua resistência, mas somente a partir de 1960 que as bexigas foram substituídas por um material de borracha e não mais de animais.



Figura 1 Bola mais antiga já encontrada

Hoje em dia as bolas costumam em sua maioria serem feitas de material sintético e possuem várias camadas de material a prova d'água e seus gomos são costumados em diversas formas. Uma bola oficial deve pesar entre 410g e 450g segundo regra do futebol.



Figura 2 Evolução das bolas de Futebol

Os movimentos que uma bola pode fazer ao longo de uma partida de futebol são os seguintes:

Translação – Movimento de translação ou movimento linear refere-se ao deslocamento de um corpo ao longo de uma linha seja ela reta ou curva.

São exemplos desse tipo de movimento o lançamento de uma bola ou o deslocamento de um jogador da defesa para o ataque.

Rotação – Movimento de rotação ou movimento angular, refere-se ao movimento de um corpo que gira em torno de algo (um eixo de rotação).

Um exemplo pode ser um chute de efeito em que a bola sai rodando em torno de si mesma.

Misto – O movimento misto é uma combinação entre a rotação e a translação.

Uma bola chutada com efeito, fazendo uma trajetória curva até o gol é um exemplo deste tipo de movimento, pois em sua ida até o gol se faz um movimento de translação e o giro em torno dela mesma o de rotação.

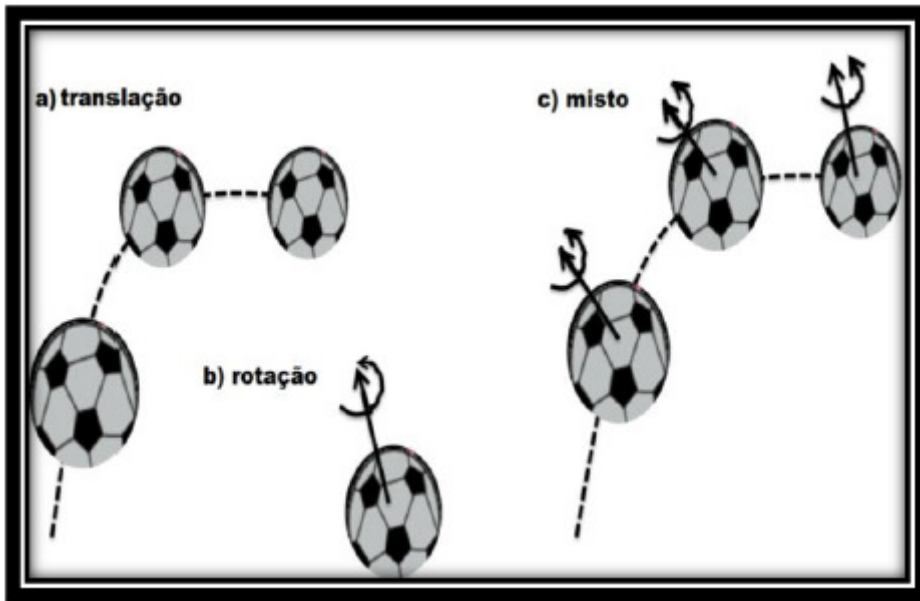


Figura 3 Movimentos da Bola de Futebol

Sistema de referência

Um fator importante quando se estuda o movimento é nunca esquecer que ele sempre se deve em relação há algo.

O simples fato de medirmos a distância de uma bola ao gol implica que o gol é o nosso sistema de referencia. Neste caso o gol está parado (preso ao chão), e todo o movimento da bola é decorrente somente dela mesma.

Mas agora imagine um goleiro correndo no campo e com a bola nos braços. A bola está em movimento ou parada ?

Em relação a alguém que esteja sentado na arquibancada assistindo ao jogo, ele está em movimento mas em relação ao goleiro, ela está parada.

Portanto a bola pode estar tanto parada quanto em movimento, tudo depende de seu sistema de referência, quando dito que o gol está parado, também não é verdade, pois a Terra está girando em torno do Sol, que por sua vez também se move em nossa galáxia.

A regra número 8 do futebol diz que antes do jogo ser reiniciado a bola deve estar imóvel no ponto central, e ela entrará em jogo no momento em que for chutada e se mover para frente. Diante de tal regra está implícito que o sistema de referência é o campo de futebol.

Uma maneira de escrever melhor depois do que foi dito seria:

“A bola estará imóvel em relação ao campo de futebol.”

Forças

Como podemos ver, em um jogo de futebol, são vários os movimentos realizados pela bola. Veremos como eles contribuirão para os efeitos provocados na bola, quando a esta se aplica uma força.

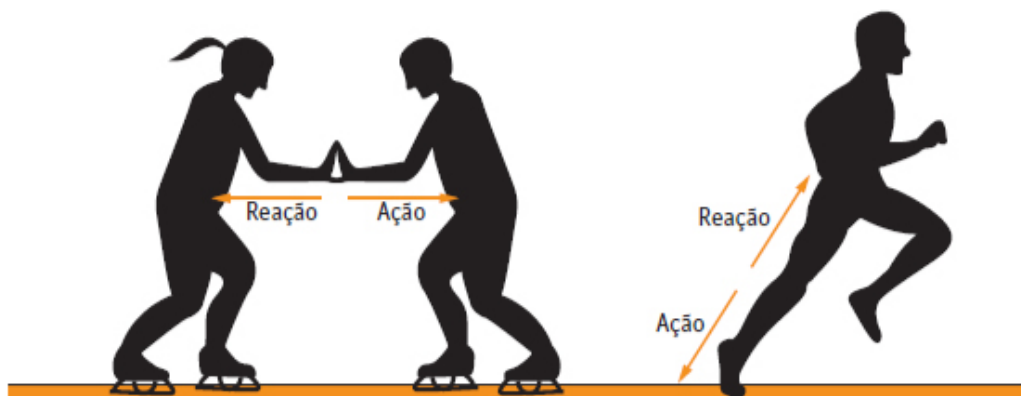
O conceito de força surgiu dentro da Dinâmica, área da física que estuda os movimentos bem como suas causas e consequências, muitos pensadores tentaram explicar a razão por qual os corpos entram em movimento, Aristóteles afirmava que para que aconteça o movimento é necessário a intervenção de uma força e ao retirarmos a força o corpo deixa de se movimentar. Foi na idade média que Galileu Galilei surgiu com um pensamento distinto de Aristóteles. Galileu conseguia por meio de engenhosos experimentos que ele mesmo construía chegar a conclusões impressionantes.

Mas foi com Isaac Newton que por fim a dinâmica conseguiu ser melhor compreendida, e o conceito de força, como sendo uma grandeza vetorial que possui a capacidade de modificar o estado de movimento de um corpo imprimindo-lhe aceleração ou capacidade de deformação, foi explicado por Newton através de três leis:

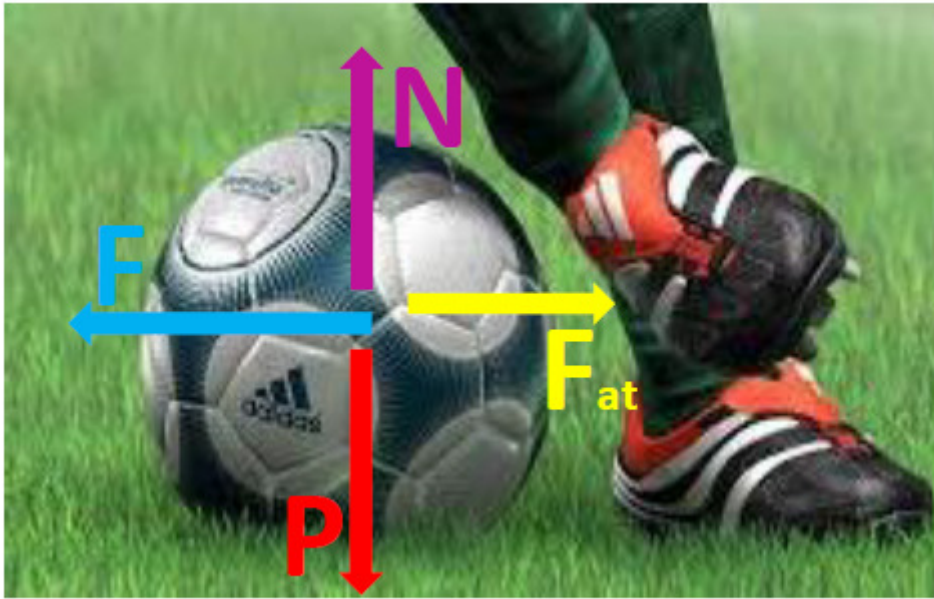
Primeira Lei de Newton (Inércia) – Todo corpo persiste em seu estado de repouso, ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que seja compelido a modificar esse estado pela ação de forças impressas sobre ele.

Segunda Lei de Newton - A aceleração que um corpo adquire é inversamente proporcional à massa do corpo e diretamente proporcional à resultante F_R das forças que atuam nele e tem a mesma direção e o mesmo sentido desta resultante.

Terceira Lei de Newton - Quando um corpo A exerce uma força sobre um corpo B, o corpo B reage sobre A com uma força de mesmo módulo, mesma direção e sentido contrário.



As forças estão inteiramente presentes em um jogo de futebol, a bola só entra em jogo se sobre ela for aplicada uma força, mas durante uma partida de futebol não é apenas uma força que está atuando sobre a bola, como podemos observar no diagrama de corpo livre.



O drible e as Leis de Newton

Um dos princípios do drible é alterar a trajetória da bola para conseguir passar pelo adversário sem perder a bola. Para isso os jogadores fazem uso da lei da inércia, pois como a massa da bola é pequena fica fácil alterar sua trajetória, enquanto que para um jogador com uma massa de 70 kg se torna muito mais difícil acompanhar as rápidas mudanças da bola.

É por isso que o Messi por exemplo sempre tenta manter a bola o mais próximo possível do seu pé, para assim conseguir mudar diversas vezes a trajetória da bola.

Outro fator importante é considerando dois jogadores A e B, sendo que o jogador A possui menos massa que o jogador B, para o jogador B é mais difícil acompanhar a aceleração do mais leve ou seja ele precisa fazer mais força já que ela depende da massa e da aceleração pela segunda lei de Newton, em contra partida o jogador A tem mais dificuldade em desarmar o jogador B caso ele esteja fazendo um pivô por exemplo, por esse motivo atacantes e zagueiros costumam ter mais força física enquanto que laterais e meio campistas precisam dar prioridade para uma boa aceleração e costumam ser mais leves.

Torque e o chute de Trivela

O torque é a força capaz de produzir rotação em um determinado objeto, para isso ele depende não só de sua magnitude como também de uma determinada distância do eixo de giro, um bom exemplo disso é ao tentar fazer girar uma régua que está em cima de uma mesa, quando mais longe de seu centro mais fácil de fazê-la girar.

Ou mesmo uma chave inglesa apertando um parafuso, onde é mais fácil fazer o giro ou o torque segurando a uma distância d do eixo de rotação, essa distância é chamada de braço de alavanca.

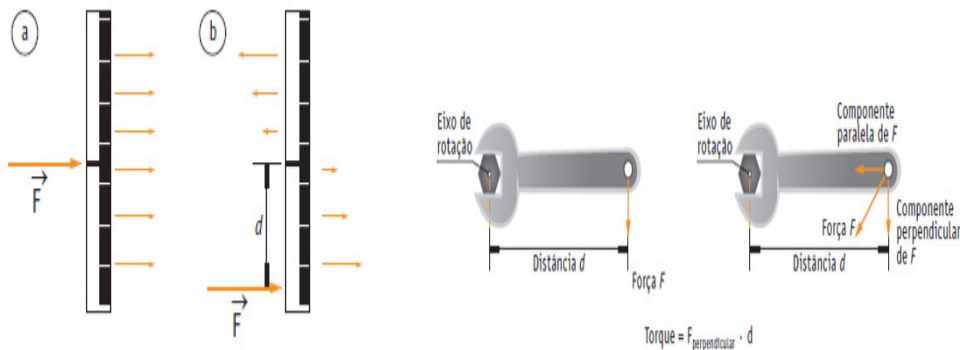


Figura 4 Exemplo chave inglesa

Figura 5 Exemplo régua

Centro de gravidade - O centro de gravidade é um ponto em torno do qual o peso do corpo está igualmente distribuído em todas as direções. O centro de gravidade de um corpo coincide com seu centro de massa quando a aceleração da gravidade g tiver o mesmo valor em toda a extensão do corpo. Isso significa que nos corpos com dimensão pequena em comparação com a da Terra, por terem eles o mesmo valor de aceleração da gravidade em todas as suas diferentes partes, seus centros de gravidade e de massa coincidem.

O centro de massa de corpos com forma geométrica simples e material homogêneo é fácil de ser encontrado, pois está no centro geométrico. No caso de uma esfera homogênea, como é o caso de uma bola de futebol, está exatamente no centro dela.

No futebol, dependendo do local da bola onde ela é chutada, ela pode deslocar-se sem girar, ou girar no sentido horário, ou no sentido anti-horário, como mostrado na Fig. 2.20. Quer dizer, chutar com efeito é fazer uma bola girar em torno de si mesma, e para isso você tem que aplicar a força a uma distância do centro de massa da bola, pois, para rodar uma bola, é necessário um torque. Qualquer bom jogador de futebol pode até não saber definir o que é torque, mas sabe muito bem produzir um com os pés e uma bola!

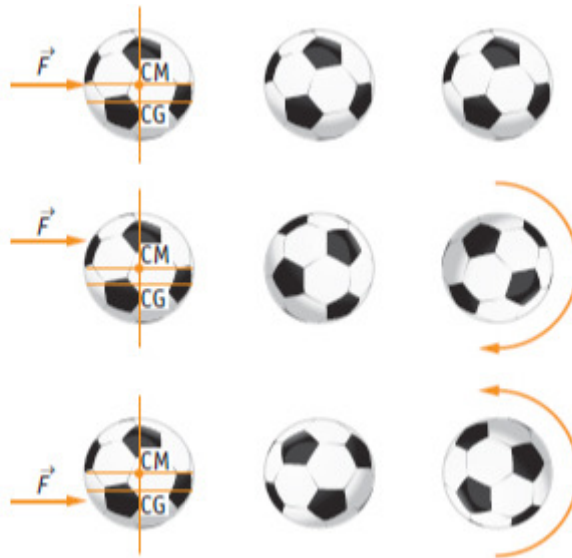


Figura 6 Rotação da bola com chute de efeito

Energia

O que observamos na natureza é uma contínua transformação das diversas formas de energia. Na verdade não há criação ou perda de energia.

Ao assistirmos televisão somos atingidos pela energia luminosa que se originou da energia elétrica que por sua vez pode ter se originado da energia gravitacional da água de uma usina hidrelétrica.

Principais tipos de energia

Energia Cinética - Uma das formas de energia mecânica é a energia de um corpo em movimento, chamada de energia cinética, que é proporcional à massa e à velocidade ao quadrado do corpo:

—

Isso quer dizer que, para corpos com a mesma velocidade, quanto maior a massa do corpo, maior a sua energia cinética; e para corpos com a mesma massa, quanto maior a sua velocidade, maior a sua energia cinética. Mas, por causa do quadrado, a variação da velocidade afeta mais a variação da energia cinética: se a velocidade dobra, a energia cinética quadruplica!

Energia Potencial Gravitacional – É a energia que um corpo acumula em função do campo gravitacional da Terra e depende de sua altura h , e de sua massa.

Considere, por exemplo, a situação de uma bola chutada para o alto. No instante em que a bola perde o contato com o pé do jogador, ela tem a máxima velocidade e, portanto, a máxima energia cinética. À medida que a bola sobe, ela vai perdendo velocidade (energia cinética) em razão da força da gravidade, até o ponto em que a bola alcança a altura máxima, onde a velocidade dela é zero (energia cinética zero). Neste ponto toda a energia cinética da bola se transformou em energia potencial gravitacional (energia potencial máxima).

Já durante a queda da bola, ela vai perdendo altura e novamente passa a ganhar velocidade, ou seja a energia potencial gravitacional passa mais uma vez a se transformar em energia cinética.

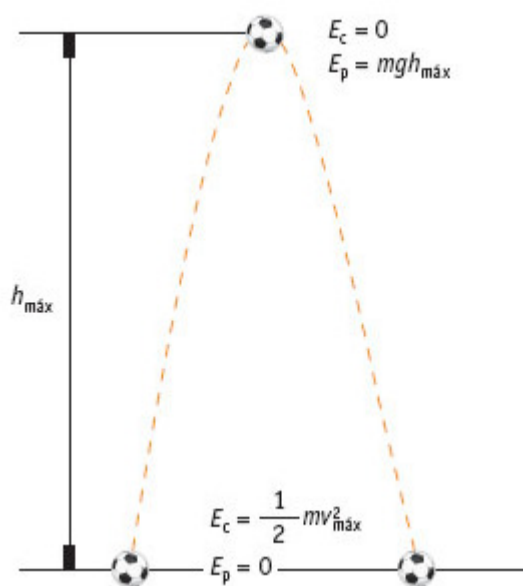


Figura 7 Transformação de energia na bola de futebol

Energia Potencial elástica –Um dos tipos de energia potencial é aquela que é armazenada por uma mola, chamada energia potencial elástica.

Imagine o seguinte experimento: uma bola é presa a uma mola que, por sua vez, é presa a uma parede. Aplicam-se forças com diferentes magnitudes e mede-se a deformação da mola a cada força aplicada. Primeiro, a mola encontra-se em repouso, na posição x_0 . Ao se puxar a bola com uma força F , a mola sofrerá um deslocamento x e ficará parada nessa posição enquanto a força F estiver atuando. Isso significa que a mola está em equilíbrio, ou seja, a resultante das forças sobre a mola é zero, pois ela não se move. Isso só é possível porque há outra força agindo na mola na direção contrária, para anular o efeito da força F . Essa força é a força elástica da mola, que está representada em alaranjado na figura a baixo. Agora, se for aplicada uma força com intensidade $2F$, a mola irá se deformar de $2x$, e se a força mudar para $3F$, a deformação será $3x$, e assim por diante. A força elástica da mola irá

aumentar em módulo com o aumento da força F sobre a mola. Portanto, há uma relação linear entre a deformação da mola e a força aplicada sobre ela.

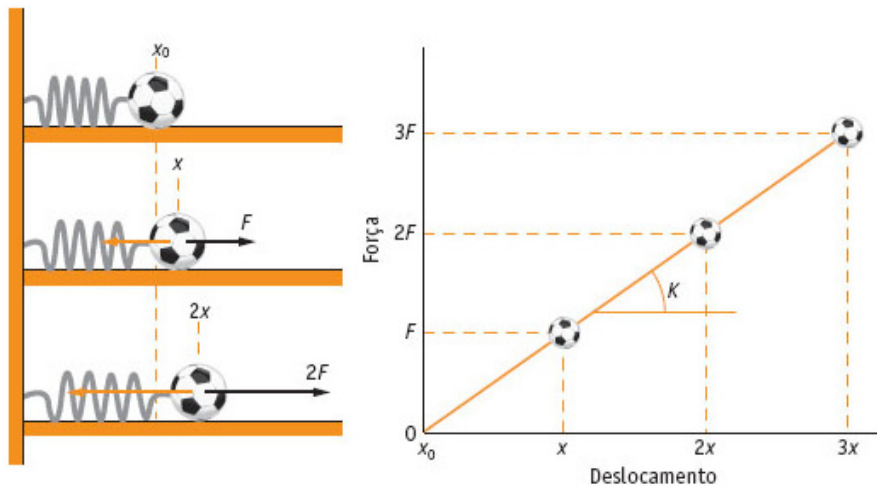


Figura 8 exemplo de força elástica

Desta maneira podemos matematicamente encontrar a expressão:

Que também pode ser escrita assim:

Onde F é o módulo da força aplicada sobre a mola; K é uma constante associada à rigidez da mola, denominada constante elástica; e Δx indica quanto a mola foi esticada ou comprimida.

È mais comum olharmos para a força da mola, do que propriamente para a força que esta sendo aplicada sobre ela (ainda que as duas tenham a mesma magnitude) porém não podemos esquecer que elas estão em sentidos diferentes, neste caso quando nos referimos a força da mola, devemos inverter o sinal da expressão acima, para indicar o sentido contrário, ficando assim:

Para encontrarmos a energia armazenada na mola, é utilizada a seguinte equação:

—

Bola de Futebol que produz e armazena energia.



Figura 9 Jessica Matthews(esq) e Julia Silverman, coinventoras do soccket.

Jessica Lin, Jessica Matthews, Julia Silverman e HemaliThakkar, quatro moças, estudantes de Engenharia da Universidade de Harvard, desenvolveram no curso, em 2008, um projeto que se transformou num grande sucesso. Elas tinham tido experiências em países em desenvolvimento como Índia, e principalmente na África, e sabiam da grande falta de energia: muitas crianças iam para a escola com o rosto preto de fumaça por terem estudado na noite anterior sob a luz de uma lamparina a querosene, altamente poluente e danosa à saúde.

Por conta disso elas desenvolveram uma bola capaz de produzir energia elétrica e foi batizada de Sockket.

A bola capta energia cinética de suas colisões, isso é feito por uma bobina indutiva e um ímã que estão dentro da bola, o movimento da bola movimenta o ímã através da bobina metálica, alterando o campo magnético que induz uma voltagem na bobina, gerando energia.

A energia produzida em uma partida de 15 minutos pode manter acesa uma lâmpada de LED durante cerca de três horas. Essa bola foi distribuída para crianças durante a copa de 2010 na África do sul.

As moças merecidamente ganharam o 2010 Popular Mechanics Breakthrough Award.

Fonte: <<http://www.soccket.com/>>.

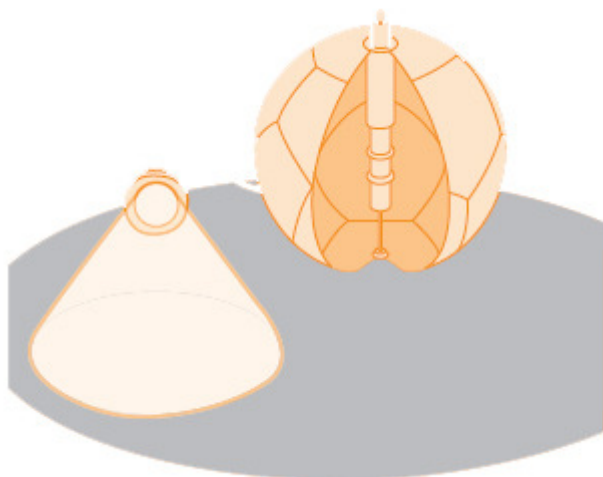


Figura 10 Desenho do interior da bola que converte energia cinética em elétrica

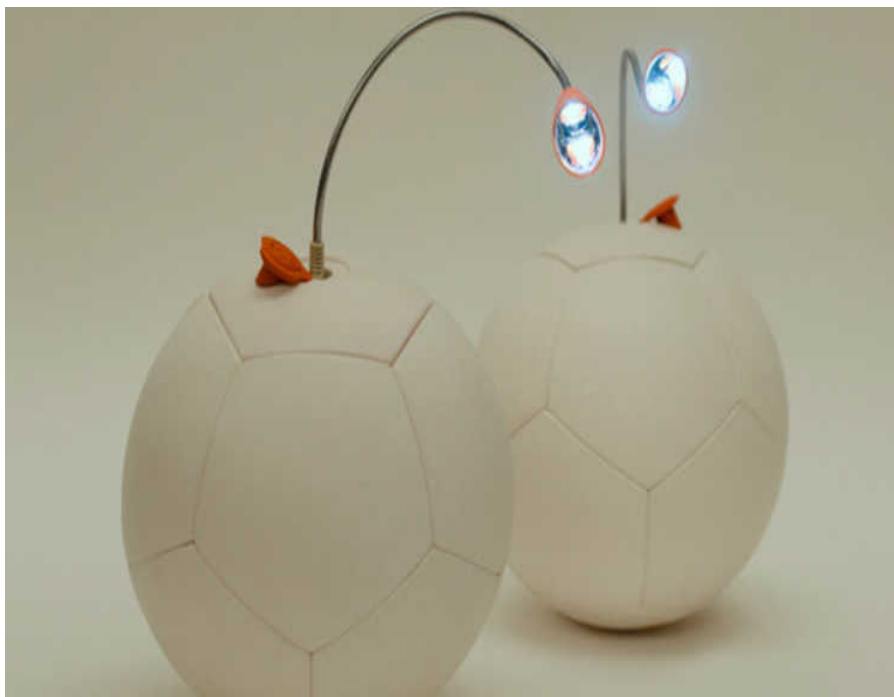


Figura 11 Imagem da Soccket



Figura 12 A soccket também pode ser utilizada para carregar um celular

Os Efeitos e a trajetória da bola

Conta a lenda que, certo dia, Didi (um dos maiores jogadores brasileiros de todos os tempos) estava com o pé machucado e, sem poder chutar a bola normalmente, resolveu chutá-la com o lado de fora do pé, atingindo-a de lado, e não no centro. O que aconteceu, todos os boieiros sabem e entrou para a história: a bola fez uma curva incrível enquanto girava em torno de si mesma, como nunca visto antes.

Sob o olhar da Física, o que aconteceu foi que a bola em movimento e girando em torno de si mesma fez surgir outra força entre ela e o fluido ar.

O chute de efeito da bola de futebol só existe porque a bola em movimento interage com o ar, dando surgimento a forças que mudam o movimento da bola.



Figura 13 Didi

Princípio de Bernoulli

Quando o ar (ou qualquer fluido) passa por volta de um corpo, acontece um efeito curioso e importante para entender o efeito da bola.

Um exemplo prático para esse efeito e introduzir esse assunto é pegando uma folha de papel segura-la como mostrado na figura a seguir e soprar forte sobre ela.

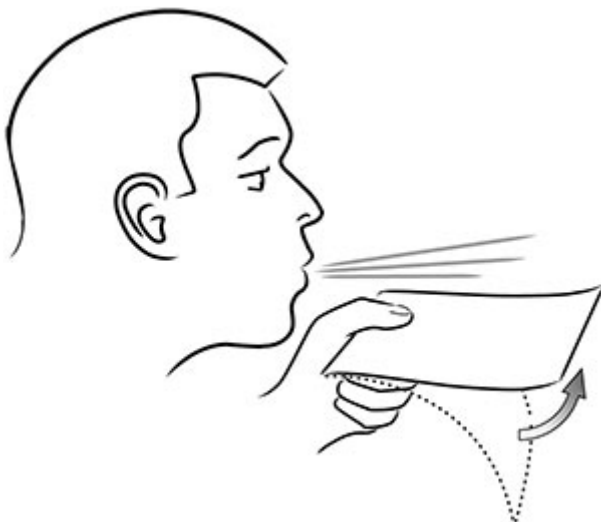


Figura 14 folha de papel sendo soprada em sua superfície

Bom, o que acontece é que ao soprar a folha, ela sobe em direção ao sopro, ao contrário do que o senso comum pode dizer que a folha se afastaria do sopro como estamos acostumados a perceber.

Isso acontece porque pelo princípio de Bernoulli, quanto maior a velocidade do ar ao passar ao longo de sua superfície suas moléculas se espalham cada vez mais fazendo com que a força que está sendo aplicada naquela área (pressão) fique menor, enquanto que na parte de baixo da folha a pressão segue a mesma ou seja maior que a de cima, por conta disso a força resultante neste caso é para cima, e a folha sobe.

Ou seja, quanto maior a velocidade que o ar passa ao longo de uma superfície menor a pressão naquela região.

Esse efeito é muito importante para explicar, por exemplo, o voo de um avião, pois a parte de cima de sua asa é curva enquanto que a parte de baixo é plana. Quando o avião ganha velocidade o ar começa a passar mais rápido pela parte de cima, diminuindo a pressão e fazendo subir já que em baixo a pressão é maior, essa força é também chamada de força de sustentação.

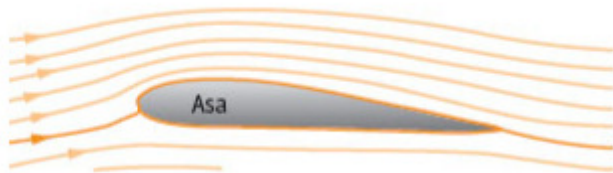


Figura 15 Esquema mostrando asa de um avião

Efeito Magnus

Agora precisamos entender o que a rotação da bola em torno de si mesma causa em relação a sua trajetória. A mudança da trajetória de um corpo por causa de sua rotação decorre do que chamamos hoje de efeito Magnus, em homenagem ao cientista alemão Heirinch Magnus (1802-1880).

Uma explicação possível desse efeito é que, quando a bola gira em torno de si mesma enquanto viaja pelo ar, uma fina camada de ar em volta dela (chamada de camada limite) também gira na mesma direção dessa rotação (essa camada de ar é resultante da aderência das moléculas de ar à superfície da bola).

A figura abaixo mostra uma bola girando no sentido horário e chutada para a direita (então o ar viaja na direção contrária). Podemos observar que, por causa das direções da rotação e da progressão da bola, do lado de baixo dela a camada de ar que rodeia estará na mesma direção do fluxo de ar, enquanto que do lado de cima a camada de ar estará na direção oposta. Isso fará que o fluxo de ar embaixo e próximo à bola tenha uma velocidade maior que o fluxo de ar em cima da bola. Segundo o princípio de Bernoulli, a zona de maior

velocidade do ar (embaixo da bola) resulta em uma menor pressão sobre a bola em comparação com a zona de cima. Portanto, surge uma força resultante que empurra a bola para baixo. Essa força é chamada de força de Magnus.



Figura 16 Efeito Magnus

Dependendo da maneira com que se chuta a bola e faz com que a rotação aconteça, seu comportamento pode ter diferentes trajetórias.



Figura 17diferenes efeitos na bola

