



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

RAQUEL FERREIRA VELOSO

**A FÍSICA APLICADA AO FUTEBOL:
OS EFEITOS NA BOLA DE FUTEBOL**

Belém/PA

2014

RAQUEL FERREIRA VELOSO

A FÍSICA APLICADA AO FUTEBOL:

OS EFEITOS NA BOLA DE FUTEBOL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, APRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE LICENCIATURA EM FÍSICA, NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS, SOB A ORIENTAÇÃO DO PROF. DR. RUBENS SILVA.

Belém/PA

2014

RAQUEL FERREIRA VELOSO

A FÍSICA APLICADA AO FUTEBOL:

OS EFEITOS NA BOLA DE FUTEBOL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, APRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE LICENCIATURA EM FÍSICA, NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS, SOB A ORIENTAÇÃO DO PROF. DR. RUBENS SILVA.

APROVADA EM: __/__/__.

ORIENTADOR: PROF. DR. RUBENS SILVA (UFPA).

PRIMEIRO AVALIADOR: PROF. M.Sc. VICTOR FAÇANHA (UFPA).

SEGUNDO AVALIADOR: PROF.^aM.Sc. ZÍNIA VALENTE (UFPA).

TERCEIRO AVALIADOR: PROF. DR. LUIS CARLOS BASSALO CRISPINO (UFPA).

Belém/PA

2014

Dedico a minha mãe, Lucidalva, a quem devo, abaixo de Deus, toda minha gratidão. Nada tenho a oferecer senão o meu amor e pedir a Deus que lhe recompense por tudo quanto significas para mim. Obrigada. Amo-te!

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, por tudo que Ele tem feito e continua fazendo em minha vida, por ter me dado forças para lutar e ir em busca dos meus objetivos, por ter me dado condições de estudar, perseverar e entrar em uma universidade federal, o que eu tanto almejava.

Agradeço a Ele por ter colocado em meu caminho as pessoas certas, que muito contribuíram para minha formação pessoal e acadêmica.

A minha mãe, Lucidalva Ferreira, por todo afeto, dedicação e esforço para que hoje eu tivesse esta oportunidade.

A minha família pelo grande incentivo, em especial, a minhas irmãs, Viviane, Luciane e Raqueline, que sempre estiveram ao meu lado e a minha avó, Jolívía Veloso, com quem sempre pude contar.

Aos meus amigos e companheiros de graduação, Sara Machado, Antônio Bruno, Nathalia Leal e Wanessa Barros, que muito contribuíram no decorrer destes anos, compartilhando conhecimento e dando exemplos de verdadeira amizade.

Aos amigos que conquistei no decorrer da minha vida, Ariane Sousa, Vivian da Luz, Thomaz Aquino, Wanda Simões, Robson Rodney, Elaine Cristina e Elizabeth Souza, que acima de tudo sempre acreditaram em mim.

Ao meu noivo, Wilham Santos, que no decorrer de minha vida pessoal e acadêmica muito me apoiou, me incentivou e sempre esteve ao meu lado sendo companheiro e amigo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rubens Silva, por sua orientação e disposição em me ajudar no desempenho deste trabalho.

Aos meus professores, que no decorrer dos anos de graduação, muito contribuíram para minha formação acadêmica.

A minha instituição, Universidade Federal do Pará, que me proporcionou todo o necessário para seguir minha vida acadêmica.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha educação, crescimento pessoal e profissional. OBRIGADA!

“Tudo posso naquele que me fortalece”

Filipenses 4.13

RESUMO

A ciência continua evoluindo, e foi a partir do momento em que a ciência passou a fazer parte dos esportes, que estes também evoluíram. A física também é ciência, e é através dela que iremos relacionar a física a um esporte muito popular, o futebol. Fizemos uso desta como motivação para o desenvolvimento de alguns conteúdos de física vistos no ensino médio contribuindo para melhorar o processo de aprendizagem e despertar maior interesse do público, sejam estes, alunos, aqueles que curtem esportes ou para os que têm curiosidades sobre o assunto. Foi a partir da década de 1970 que o futebol começou a ser visto com um olhar científico. Sabemos que se não fosse a ciência, hoje não teríamos toda essa comodidade que temos de podermos acompanhar tudo sem sair do lugar. Este trabalho foi produzido com a finalidade de mostrar que esporte também é ciência, como é o caso do futebol, onde nosso principal objetivo é explicar alguns dos principais efeitos que são dados à bola quando chutada com velocidade. É notável que o futebol seja um tema bastante popular, e por este motivo, foi utilizado de forma que não fossem vistos a partir de termos esportivos, competitivos ou técnicos, mas em termos acadêmicos, com o objetivo de relacionar a física aplicada ao futebol, dando ênfase aos principais efeitos que ocorrem com a bola em um jogo de futebol, como o efeito de arrasto: que a bola sofre ao ser chutada com velocidade, o efeito Magnus: que influencia na mudança da trajetória da bola e suas aplicações no dia a dia.

Palavra chave: física e futebol. Efeito Magnus. Leis da física aplicadas ao futebol.

Abstract

The science continues to evolve, and it was the moment when science became part of sports, they have also evolved. Physics is also science, and it is through her that we will relate physical to a very popular sport, football. We did use this as motivation to develop some content visa high school physics contributing to improve the process of learning and arouse greater interest of the public, whether, students, those who enjoy sports or for those curious about the subject. It was from the 1970s that football began to be seen with a scientific eye. We know that if it were not for science, we would not have all this convenience that we have to follow all without leaving your seat. This work was produced with the purpose of showing that sport is also science, as is the case of football, where our main goal is to explain some of the major effects that are given to the ball when kicked at speed. It is remarkable that football is a very popular topic, and for this reason it was used so as not to be seen from sporting, competitive or technical terms, but in academic terms, with the goal of relating the physics applied to football, emphasizing the main effects that occur with the ball in a football game, as the effect of drag: the ball undergoes when it is kicked at speed, the Magnus effect: what influence in changing the trajectory of the ball and its applications in everyday day.

Keyword: physics and football. Magnus effect. Laws of physics applied to football.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 HISTÓRIA DO FUTEBOL.....	16
2.1 A EVOLUÇÃO DA BOLA DE FUTEBOL.....	18
3 A FÍSICA APLICADA AO FUTEBOL.....	21
3.1 MOVIMENTOS.....	22
3.2 FORÇAS.....	24
3.3 LEIS DE NEWTON.....	26
3.3.1 PRIMEIRA LEI DE NEWTON.....	26
3.3.2 SEGUNDA LEI DE NEWTON.....	26
3.3.3 TERCEIRA LEI DE NEWTON.....	27
3.4 FORÇAS ATUANTES NA PARTIDA DE FUTEBOL.....	28
4 FLUÍDOS.....	30
4.1 FORÇA DE ARRASTO.....	31
4.2 PRINCÍPIO DE BERNOULLI.....	32
4.3 CRISE DO ARRASTO.....	34
4.4 EFEITO MAGNUS.....	35
4.4.1 O EFEITO NA BOLA.....	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
APÊNDICE A: LANÇAMENTO OBLÍQUO.....	43
APÊNDICE B: MOVIMENTO RELATIVO.....	44
APÊNDICE C: EXEMPLOS COTIDIANOS DA FORÇA DE ARRASTO.....	44

APÊNDICE D: AERODINÂMICA NA ASA DO AVIÃO.....	48
APÊNDICE E: ACAMADA LIMITE E ARELAÇÃO COM AS PÁS DE UM VENTILADOR.....	49

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Representação de Robson Moreira: futebol na antiguidade...	16
FIGURA 2- Logo da FIFA (2014).....	17
FIGURA 3- Charles Miller ‘pai do futebol brasileiro’.....	18
FIGURA 4- Porta-vinho, um dos objetos utilizados como bola.....	19
FIGURA 5- A bola mais antiga já encontrada.....	19
FIGURA 6- As bolas mais antigas até as mais atuais.....	20
FIGURA 7- Física no futebol.....	21
FIGURA 8- Movimentos no jogo de futebol.....	23
FIGURA 9- Movimentos realizados pela bola.....	24
FIGURA 10- Força e seu efeito de deformação.....	25
FIGURA 11- Representação da força de ação e reação.....	27
FIGURA 12- Representação das forças atuantes na bola de futebol.....	28
FIGURA 13- Representação da distribuição dos átomos da matéria.....	30
FIGURA 14-Representação da distribuição das moléculas do ar diante a passagem da bola.....	32
FIGURA 15-representação experimental do princípio de Bernoulli.....	33
FIGURA 16- Camada laminar (a) e turbulenta (b).....	35
FIGURA 17- Bola sem giro e escoamento estacionário.....	36
FIGURA 18- Bola com giro e escoamento estacionário.....	37
FIGURA 19- bola de efeito com movimentos simultâneos de rotação e translação.....	38
FIGURA 20- Linhas de fluxo de ar quando a bola é lançada com movimento misto.....	38

FIGURA 21- Forças resultantes com o efeito Magnus.....	39
FIGURA 22- Representação do movimento oblíquo.....	43
FIGURA 23- representação do experimento simples da folha de papel.....	45
FIGURA 24- Representação da força de arrasto na parte frontal de um carro.....	45
FIGURA 25-A resistência do ar à descida do paraquedista.....	46
FIGURA 26- Representação de um abanador e seu movimento.....	47
FIGURA 27- Bolas de futebol.....	47
FIGURA 28- Representação das forças atuantes na asa do avião.....	48

1 INTRODUÇÃO

A Física está presente em nosso cotidiano, faz parte da natureza e está presente em todas as atividades humanas. O simples fato de caminharmos já é considerado um fenômeno físico que envolve diversas leis e movimentos. Nos esportes, em geral, também encontramos associações de movimentos explicados pela Física. Um dos principais esportes brasileiros é o futebol, cujos jogadores utilizam, sem muitas vezes perceber, os conhecimentos físicos para realizar grandes jogadas.

Por se tratar de um dos esportes mais populares do mundo, o futebol foi escolhido para ser estudado e analisado nesta monografia, com o objetivo de mostrar uma física diferenciada daquela estudada em sala de aula para que possamos provocar no aluno: questionamento, interesse e expectativa no estudo da disciplina Física. Através do futebol, prática prazerosa para quem joga e para quem assiste, iremos trabalhar: sua origem, chegada ao Brasil e os efeitos físicos a que a bola está sujeita durante o jogo.

Nosso principal objetivo é evidenciar a crise de arrasto, que é um processo que ocorre inversamente ao que deveria acontecer, por exemplo: ao aumentar a velocidade na bola a resistência do ar aumenta de forma proporcional, porém, quando a velocidade atinge um limite considerável, que depende de várias características da bola, a resistência do ar vai sofrer um processo inverso, sofrendo uma diminuição abrupta. Veremos também o Efeito Magnus, que tende a ocorrer na presença de uma coluna de ar, é responsável pela curva que a bola sofre ao longo de sua trajetória e depende da velocidade com que a bola gira em torno do seu próprio eixo e das rugosidades da superfície do objeto em questão.

Por conseguinte trabalharemos alguns princípios da Cinemática, que é o ramo da Física que estuda os movimentos sem a preocupação de suas causas e veremos os princípios da Dinâmica, estudados pelas Leis de Newton. Nossa meta não é apenas promover um estudo significativo que sirva como modelo para que outros professores possam utilizar em sala de aula, mas também provocar os professores para que estes se

conscientizem de que uma aula diferenciada da tradicional, onde os objetos de ensino se restringem a: pincéis, lousas e livros didáticos, não proporcionam o mesmo interesse de jovens e adolescentes que uma aula diferenciada e vivenciada pode proporcionar.

2 HISTÓRIA DO FUTEBOL

Embora não se tenha muita certeza sobre os primórdios do futebol, historiadores descobriram vestígios de vários jogos que utilizavam a bola como objeto de jogo, em culturas antigas como na China, Itália, Egito e Japão. Nesse período não havia a bola que conhecemos atualmente, por esse motivo os objetos utilizados como bola era, na maioria das vezes, feito de pedras, madeira, crânios de animais ou de inimigos vencidos em alguma batalha como o representado por Robson Moreira na Fig. 1. Na Idade Média esses instrumentos foram substituídos por bexiga de animais que eram empalhadas.



Figura 1- Representação de Robson Moreira: futebol na antiguidade [1].

No século XVII o futebol de campo, como é conhecido, chegou à Inglaterra e recebeu diversas modificações, dentre elas as regras básicas do futebol, em 1863, através da fundação da associação de futebol *football association*. O jogo consiste de duas equipes com 11 jogadores de cada lado e 3 substituições permitidas para cada lado e possui apenas 1 árbitro principal. O jogo é realizado em dois intervalos de tempo de duração de 45 minutos, separado por um intervalo de tempo de 15 minutos. Após os 90 minutos de jogo, se os times estiverem

com a mesma quantidade de gols, dizemos que a competição está empatada e o jogo se encerra. Diante de uma fase eliminatória, após os 90 minutos de partida, se o jogo estiver empatado dar-se-á um acréscimo de dois tempos de 15 minutos, se ainda assim continuar empatada a competição, a decisão será disputada nos pênaltis. Nenhum dos jogadores pode colocar as mãos na bola, durante o jogo, com exceção dos goleiros.



Figura 2 – Logo da FIFA 2014 [2].

Em 1904, na França, foi criada a Federação Internacional de Futebol, que ficou conhecida como FIFA (*Fédération Internationale de Football Association*), que serve para dirigir e associar o futebol mundial, a Fig. 2, mostra o símbolo da FIFA nos dias atuais.

No Brasil a introdução do futebol se deu através de Charles W. Miller (São Paulo 1874-1953), Fig. 3, filho de um escocês com uma brasileira. Aos 9 anos de idade Charles viajou para Inglaterra, onde aprendeu a jogar futebol. Em 1894 retornou ao Brasil, para trabalhar nas estradas de ferro, trazendo consigo bombas de ar, bolas, chuteiras, uniformes e livros contendo regras do jogo de futebol. Por ter organizado o primeiro jogo de futebol registrado no Brasil, ele recebe o título de “PAI DO FUTEBOL BRASILEIRO”.

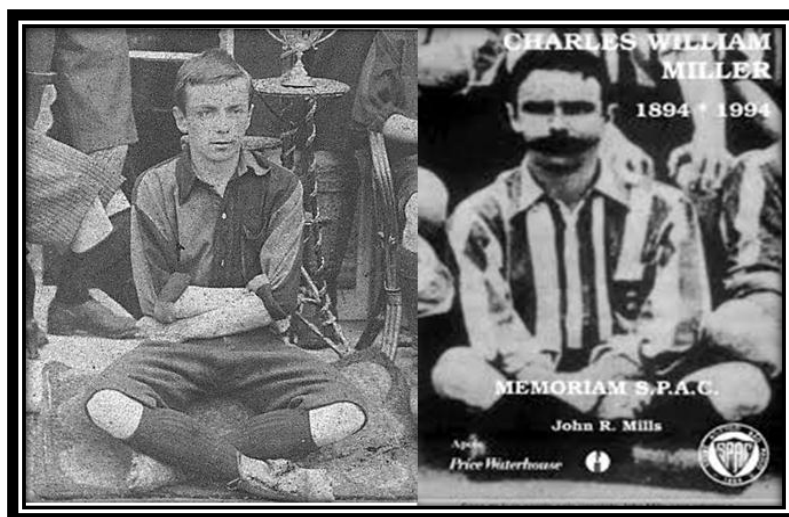


Figura 3- Charles Miller ‘pai do futebol brasileiro’ [3].

Na década de 1970, a seleção brasileira foi considerada pela maioria o melhor time de todos os tempos, tanto porque uniram grandes craques que levaram o Brasil a vitória, quanto porque houve um grande planejamento dentro e fora de campo. Foi a partir de então que o futebol começou a ser visto com um olhar científico, onde começaram a fazer parte da comissão técnica: fisiologistas, fisioterapeutas, nutricionistas, médicos especializados e outros profissionais. Hoje, o Brasil tem uma estrutura de apoio aos atletas melhor até que a dos grandes clubes da Europa. O futebol começa a dar espaço para a ciência e começa a evoluir, melhorando técnicas, e o rendimento no campo, o marco do futebol científico, técnico, organizado, planejado e disciplinado. Daí em diante o futebol ganha a dimensão que se tem hoje, ser mundialmente popular [4].

2.1 A EVOLUÇÃO DA BOLA DE FUTEBOL

Nos tempos antigos as bolas eram feitas de materiais sólidos, que pudessem ser chutados, como crânios, bexigas de animais, porta- vinho Fig. 4, madeira, couro preenchido de cabelo ou musgo e até mesmo pedras.



Figura 4- Porta-vinho, um dos objetos utilizados como bola [5].

Somente no início da Idade Média que foram inventadas as primeiras bolas que quicavam. A bola de futebol mais antiga, provavelmente, tem uns 450 anos Fig. 5, e foi encontrada em 1999, escondida entre as vigas da cama da Rainha Mary Stuart, no Castelo de Sterling, na Escócia.

As bolas eram feitas de bexigas de animais com revestimento de couro, porque rompiam muito rápido devido a violência com que o jogo era praticado. A partir de então começaram a revestir as bolas com couro, que é um material mais resistente. Mas somente a partir de 1960 foram substituídas por bexigas de borracha.



Figura 5-A bola mais antiga já encontrada [6].

Hoje em dia as bolas de futebol evoluíram e quase todas são feitas de material sintético. As bolas têm várias camadas de material que são

revestidos com uma cobertura a prova d'água. As camadas são cortadas em gomos de diversas formas geométricas como retângulos, pentágonos ou hexágonos, que são costurados para formar a bola.

Veja as bolas mais antigas usadas nas copas até as mais atuais na Fig.6.



Figura 6- As bolas mais antigas até as mais atuais [7].

3 A FÍSICA APLICADA AO FUTEBOL

São inúmeras as leis físicas presentes no estádio de futebol e não se restringem apenas a um jogo. Alguns estudos físicos recebem importâncias significativas em relação ao todo e são identificados desde o momento em que o jogador, ao correr atrás da bola, se movimenta (estudado pela Cinemática) e ao alcança-la a chuta (provocando um par de forças de ação e reação) em direção ao gol. Ao entrar em movimento, a bola, inicialmente em repouso, sai do seu estado de inércia e adquire energia cinética (velocidade) e potencial (ao percorrer distâncias verticais no ar), permitindo ser capaz de realizar trajetórias distintas: retas ou curvas e movimentos diferenciados: rotação, translação e/ou misto. Quando a trajetória da bola não ocorre com perfeição, ela não consegue atingir o seu objetivo, perdendo assim o gol, levando a torcida às vaias. Porém, quando a bola recebe impulso, força, direção, altura e velocidade correta (estudado pela Física do lançamento oblíquo¹), permitindo a bola adentrar a trave, a torcida entra em delírio gritando em ato conjunto o famoso brando de GOOOOOLLLLLL (explicado pela acústica, parte da Física que estuda o som).



Figura 7-física no futebol [8].

¹ A física do lançamento oblíquo encontra-se no apêndice A.

Alguns jogadores ficam conhecidos mundialmente por suas belas ou fracassadas jogadas, como é o caso do jogo ocorrido na Copa do Mundo, 2014, no dia 04 de Julho, realizada no Brasil, onde os times: Brasil x Colômbia se enfrentaram. Durante a partida o jogador colombiano Juan Camilo Zuniga, em um ato de covardia, jogou-se contra o adversário brasileiro Neymar Junior acertando-lhe na altura da coluna. Esse ato de brutalidade ficou conhecido e comentado por diversas semanas em vários meios de comunicação mundiais. O jogador colombiano ao aplicar uma força consideravelmente intensa no jogador brasileiro, não tinha conhecimento da Terceira lei de Newton, que mostra que para cada força de ação aplicada há uma força de reação de mesma intensidade, mesma direção e sentido contrário. Ao ser atingido, o jogador Neymar caiu ao chão. O simples fato da queda de Neymar envolve a força gravitacional e a força de atrito entre o seu corpo e o gramado. Ao perceber que Zuniga havia atingido Neymar de forma grave o árbitro apita o jogo, abrindo um pequeno intervalo de tempo para que o jogador atingido fosse retirado do gramado. Tudo o que está na natureza é regido pelas leis da Física, com o futebol não é diferente, podemos dispor de uma série de estudos aplicados para melhor compreensão de um fenômeno específico.

Neste capítulo trabalharemos os movimentos realizados pela bola, os efeitos causados por estes movimentos e veremos o que significa o estudo da chamada “BOLA DE EFEITO”. Para melhor compreensão do que será estudado daremos uma prévia de alguns conceitos fundamentais.

3.1 MOVIMENTOS

A bola já está posicionada no centro do campo, mas o jogo só começa quando a bola, que está em repouso, é chutada e adquire movimento, Fig. 8. Para que possamos afirmar que a bola encontra-se em repouso ou movimento devemos, primeiramente, identificar o

referencial utilizado. Ou seja, em relação a quê, a bola estará em repouso ou movimento? Dizemos, então, que o movimento é relativo².

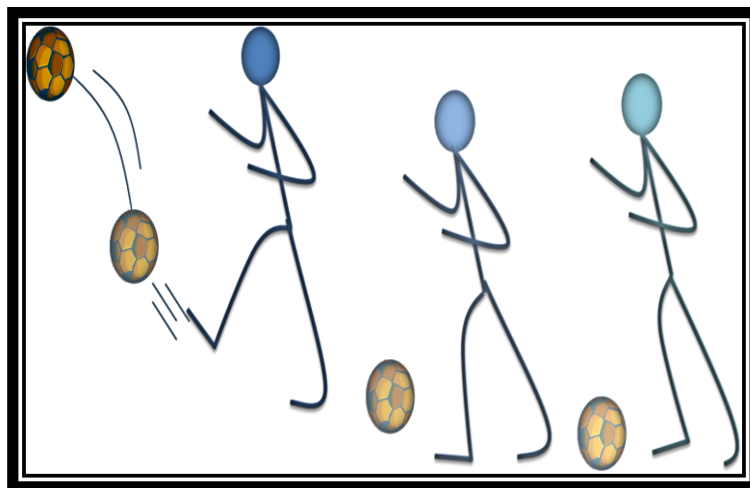


Figura 8- Movimentos no jogo de futebol [9].

Iniciado o jogo, a bola sofre inúmeros chutes, realizando vários movimentos. Estes, na Física, são divididos em três: movimento de translação, movimento de rotação e movimento misto.

Os movimentos de translação ou também chamado lineares, são aqueles em que o corpo desloca-se ao longo de uma linha, percorrendo trajetórias lineares, podendo, esta, ser reta ou curva.

Os movimentos de rotação, também chamado movimentos angulares, são aqueles em que o corpo gira em torno de um eixo, ou seja, o movimento é perpendicular ao eixo de rotação.

O movimento misto é a junção do movimento de rotação e de translação, ou seja, o corpo ao se deslocar de um lugar para o outro pode, ao mesmo tempo, seguir girando em torno de seu próprio eixo.

Podemos evidenciar este, na análise do movimento de uma da bicicleta. Se observarmos o movimento de um ponto no pneu da bicicleta, perceberemos que este possui dois movimentos: um em que a

² O estudo referente ao movimento relativo encontra-se no apêndice B.

roda percorre uma trajetória retilínea na direção do eixo horizontal que é característica do movimento de translação e outro em que a ela gira em torno do seu próprio eixo, portanto, a roda possui um movimento misto (rotação + translação). É o que chamamos de movimento misto (translação + rotação). Analogamente, a bola ao ser chutada, pode estar se deslocando de um lugar para o outro e ao mesmo tempo seguir girando em torno de si mesma, por isso dizemos que a bola realiza um movimento de rotação-translação, como podemos perceber na Fig. 9.

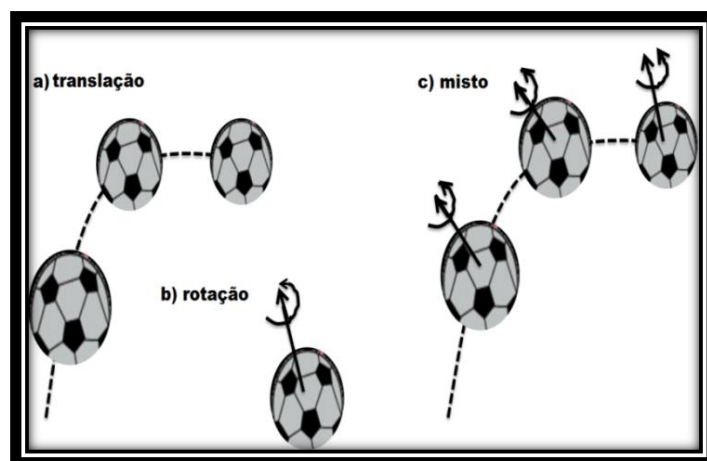


Figura 9 – Movimentos realizados pela bola [9].

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.

3.2 FORÇAS

O conceito de força surgiu dentro da Dinâmica, área da Física que estuda o movimento bem como suas causas e consequências, na Idade Média. Neste período vários pensadores tentaram explicar o movimento, Aristóteles (da Idade Antiga) afirmava que para acontecer o movimento de um corpo era necessária a intervenção de uma força e que se retirássemos a força o corpo deixaria de se movimentar. Por vários anos acreditou-se nessa teoria, até que surgiu Galileu (Idade Média), um dos maiores avanços na área da Ciência, pois diferente dos demais

pesquisadores, Galileu se empenhava em demonstrar suas teorias através de experimentações e foi através destas experiências que ele pôde provar e comprovar que a teoria de Aristóteles não estava completamente correta. Neste período, a igreja católica detinha o poder e os cientistas eram vistos como hereges, por causa de suas experiências Galileu foi chamado até o tribunal da santa inquisição para ser julgado, caso ele assumisse suas teorias seria condenado a morte, ao chegar ao tribunal Galileu negou suas teorias e foi absolvido e suas experiências e teorias tiveram que ser extintas. Nesta mesma época além do declínio da ciência, a sociedade também se estagnou com a queda da cultura e da economia, o que gerou o declínio do império Romano, deixando a sociedade em plena calamidade, período este que ficou conhecido como IDADE DAS TREVAS [2].

Após esse período de perseguição aos cientistas surge o jovem inglês Newton, que traz consigo toda a divulgação e revolução no modo de pensar da Ciência, através de Newton os estudos científicos ganharam voz e vez, devido a esse avanço o poeta Alexander Pope ao parafrasear a leitura Bíblica de Gêneses 1, escreveu: “A NATUREZA E SUAS LEIS NAS TREVAS SE ESCONDIAM, DEUS DISSE: “FAÇA-SE NEWTON!”E A LUZ SE FEZ”.



Figura 10- Força e seu efeito de deformação [10].

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 e/ou capacidade de deformação, conforme mostra a Fig. 10, foi explicado por Newton através de três leis que receberam o nome de Leis de Newton, em sua homenagem [11].

3.3 LEIS DE NEWTON

3.3.1 PRIMEIRA LEI DE NEWTON (PRINCIPIO DA INÉRCIA)

A primeira lei de Newton explica que um corpo, estando em repouso continuará em repouso a não ser que a ele seja aplicada uma força que o faça sair de seu estado de repouso e o faça entrar em movimento. Se este mesmo corpo estiver em movimento, com velocidade constante, ele continuará em movimento, a não ser que haja intervenção de uma força externa que o faça parar. Na prática isso significa que se tivéssemos uma superfície tão polida a ponto de a força de atrito (força atuante no corpo que está sempre oposta ao movimento) ser nula, o corpo iria permanecer em movimento. A inércia de um corpo está relacionada diretamente com a sua massa, por exemplo, se temos uma bicicleta e um caminhão, ambos em repouso, é muito mais fácil uma pessoa deslocar a bicicleta, por possuir menor massa, que deslocar um caminhão. Dizemos, portanto, que a inércia da bicicleta é menor que a inércia do caminhão.

3.3.2 SEGUNDA LEI DE NEWTON.

Estando um objeto em repouso, como um automóvel, por exemplo, podemos removê-lo por meio do motor ou empurrando-o. Vamos supor que o carro precise ser empurrado e que uma pessoa se disponibilizou a empurrá-lo aplicando-lhe uma força de 100N, fazendo o carro adquirir uma velocidade de 1,1 m/s. Se tivermos a aplicação de uma força de 200N, teremos uma velocidade de 2,2m/s. supondo que em ambas as situações o deslocamento do carro se deu em 10s, para tanto podemos calcular a aceleração para o primeiro caso, que será $0,11\text{m/s}^2$ e para o segundo caso será $0,22\text{m/s}^2$.

Para o primeiro caso, vamos dividir a força aplicada pela aceleração adquirida, o que nos dará um resultado de 909,9. Para o segundo caso, faremos o mesmo procedimento, o que nos dará um resultado de 909,9. Esse valor que encontramos para ambos os casos é referente a massa do automóvel, que será sempre um valor constante, portanto, temos que a divisão entre a força aplicada e a aceleração adquirida pelo corpo nos dará como resultado uma constante, que é a massa do objeto em questão.

Esta é a segunda lei de Newton, resumida pela fórmula $F = m.a$, que nos demonstra que ao aplicarmos uma força (**F**) em um objeto este adquire aceleração (**a**) sem alterar o valor de sua massa (**m**). De forma mais exata, a 2ª lei de Newton vem da taxa de variação do momento linear, no qual, se considerarmos a massa do sistema como constante, esta desencadeia na fórmula descrita acima.

3.3.3 TERCEIRA LEI DE NEWTON.

A terceira Lei de Newton ocorre quando temos dois corpos em interagindo entre si aplicando forças mutuas em no outro, por exemplo, se tivermos uma pessoa aplicando uma força na direção horizontal e no sentido da esquerda para a direita em uma pedra, a pedra também estará aplicando uma força que terá mesmo valor numérico, mesma direção, porém no sentido contrário, ou seja, da direita para esquerda, conforme podemos observar na Fig. 11.



Figura 11- Representação da força de ação e reação [12].

Para a interação entre essas forças precisamos ter conhecimento de que uma provoca ação e a outra reação e que é indiferente sabermos qual delas é força de ação e qual é a de reação.

3.4 FORÇAS ATUANTES NA PARTIDA DE FUTEBOL

As leis de Newton são perfeitamente visualizadas na partida de futebol. Quando o árbitro autoriza o início do jogo um dos jogadores chuta a bola. No momento do contato entre o pé do jogador e a bola há a junção das três leis de Newton. Ao aplicar uma força na bola para que esta mude seu estado de repouso para um estado de movimento, temos a primeira Lei, como a bola possui uma massa e ao se aplicar força do pé do jogador na mesma ela entra em movimento adquirindo aceleração temos a segunda lei de Newton e para que haja a ação de uma força os corpos precisam estar em contato entre si, portanto o jogador ao aplicar uma força na bola também recebe o mesmo modulo da força aplicada, o que nos remete a lei da ação e reação.

No exato momento do chute, temos não apenas uma, mas diversas forças atuantes na bola, como por exemplo, a força do pé do jogador F , a força peso P , que tem sua orientação sempre na direção vertical e no sentido de cima para baixo, a força normal N , que é uma força atuante no contato entre dois corpos e que em algumas situações aparece oposta a força peso e a força de atrito F_{at} , que se opõe ao movimento do corpo, conforme podemos observar na Fig. 12.



Figura 12- Representação das forças atuantes na bola de futebol [13].

De acordo com a segunda lei de Newton, devemos fazer uso da força resultante atuante no corpo, que é a soma de todas as forças existentes, para isso far-se-á necessário encontrarmos a força resultante atuante na bola. No caso em questão, a força Normal é de mesmo valor modular que a força Peso, portanto essas forças irão se anular, deixando apenas a força de atrito e a força aplicada pelo jogador. A bola tende a se movimentar na orientação da força resultante. Pelo fato das forças estarem em sentidos contrários, elas serão subtraídas, o resultado será a força resultante na direção que a bola irá seguir.

Todo corpo sofre resistência a todo e qualquer movimento, no caso da bola de futebol, ela sofre a resistência que se opõem ao movimento que faz quando é chutada. Quando a força de atrito é maior que a força aplicada à bola, temos a evidência de uma força de resistência do ar que é responsável por fazer a direção da bola sofrer um desvio em sua trajetória, para isso é necessário se ter domínio do fluido em questão. Ou seja, para falarmos de resistência do ar, devemos conhecer suas principais características, como por exemplo: o que ele representa? Quais suas propriedades? Qual seu estado físico? Qual a importância para este trabalho? Veremos que o estudo do ar será essencial para compreendermos várias situações cotidianas. Faz-se necessário o estudo dos fluidos.

4 FLUÍDOS

A matéria é classificada quanto ao seu estado físico, que pode ser: sólido, líquido e gasoso, a Fig. 13 faz uma representação de como se comportam os átomos da matéria, em função de seu estado físico.

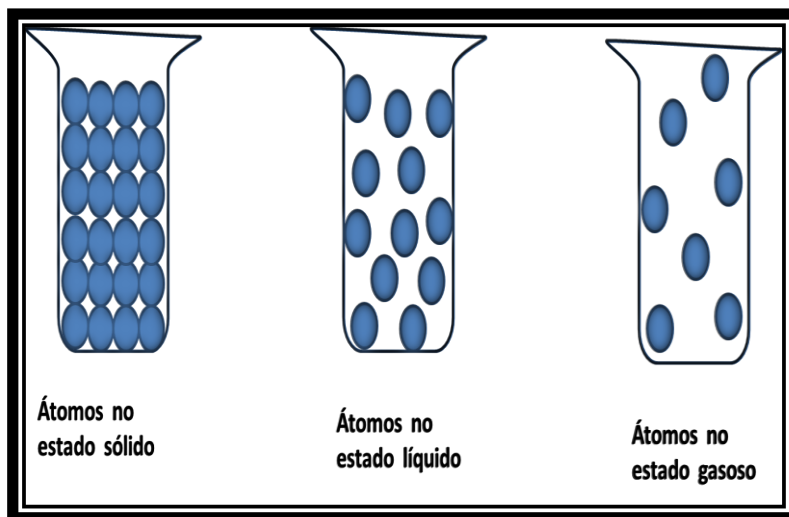


Figura 13- Representação da distribuição dos átomos da matéria [9].

A palavra FLUIDO significa “fluir com facilidade”, ou seja, na simples aplicação de uma força, eles escoam facilmente. Ao escoar, os fluidos assumem a forma do recipiente a que são submetidos, portanto, na classificação de fluidos apenas os líquidos e gases fazem parte desta categoria, por isso costumamos classificar a matéria sob o ponto de vista macroscópico em: sólidos e fluidos.

As principais características de um fluido são:

- Facilidade de escoamento.
- Ligações atômicas fracamente ligas por forças elétricas.
- Não apresentam forma definida.
- Se líquidos, possuem volume, praticamente, invariáveis, ou seja, são praticamente incompressíveis.
- Possibilidade de mudança de fase, podendo passar de um estado físico para outro variando a temperatura e a pressão da substancia.

- Apresentam viscosidade e por isso oferecem resistência aos movimentos dos corpos.

A influência do ar juntamente com a força de arrasto e o efeito Magnus resulta em uma partida de futebol fracassada, se não houver uma harmonia entre os três efeitos, ou uma jogada brilhante, caso haja sincronia entre estes.

4.1 FORÇA DE ARRASTO

Uma bola em movimento no ar está sujeita às forças aerodinâmicas causadas pela pressão e viscosidade do meio, no caso, o fluido. Essas forças podem ser decompostas como a força de arrasto e a força de sustentação.

Chamamos de força de arrasto a tendência do ar em oferecer uma força de resistência ao movimento e que faz com que o objeto tenha sua velocidade diminuída. Inúmeros são os exemplos onde podemos evidenciar esta força³.

A força de arrasto surge quando a bola em movimento tende a passar pelas moléculas de ar a sua volta, de forma a querer “atravessá-las” e para isso a bola teria que “empurrar” o ar a sua frente, este por sua vez oferece certa resistência a esse deslocamento, desta forma, quanto mais rápida for a velocidade da bola, mais moléculas de ar ela teria que “empurrar” e maior seria a resistência do ar. Concluimos, portanto, que quanto maior for a velocidade da bola, maior será a força de resistência. Se fizéssemos um experimento no qual pudéssemos medir a velocidade da bola e a força de arrasto do ar sobre ela, veríamos que quando a velocidade da bola duplicasse, a força de arrasto quadruplicaria, de forma mais específica isso significa que a força de arrasto exercida pelo ar sobre a bola é proporcional ao quadrado da velocidade da bola. Logo, a força de arrasto é proporcional ao quadrado da velocidade do corpo.

³ Os exemplos cotidianos da força de arrasto encontram-se no apêndice C.

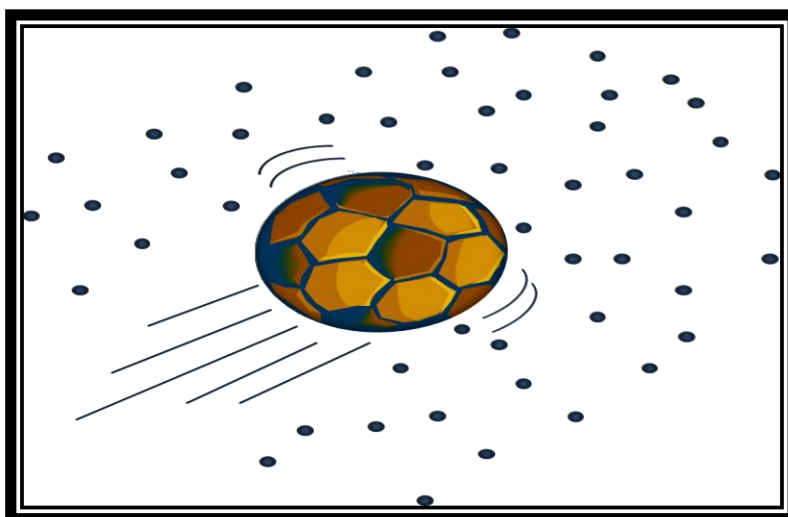


Figura 14-Representação da distribuição das moléculas do ar diante a passagem da bola [9].

Enquanto o deslocamento da bola se dá na diagonal da esquerda para a direita, Fig. 14, o ar “empurrado” por ela escoar para as laterais, e o espaço logo atrás da bola, não seja ocupado imediatamente, fazendo com que a pressão atrás da bola seja diminuída, logo, a pressão da parte frontal e lateral (locais em que as moléculas de ar aglomeram-se) seja aumentada. Essa diferença entre as pressões faz com que surja uma força resultante no sentido oposto ao movimento, ou seja, a força de arrasto [4].

4.2 PRINCÍPIO DE BERNOULLI

Para entendermos o que acontece quando o ar passa ao longo da superfície de um corpo é necessário lembrarmos de um dos princípios físicos evidenciados no estudo da Dinâmica dos Fluidos, que foi estudado no século XVIII pelo físico suíço Daniel Bernoulli.

Estamos imersos num “oceano de ar” que exerce sobre nosso corpo uma pressão chamada de pressão atmosférica. Quando um fluido se move paralelamente a uma superfície, as moléculas de ar são “empurradas” para os lados e para frente fazendo com que a força (pressão) sobre a superfície, logo abaixo dessas moléculas, se torne menor.

Bernoulli descobriu que quando o ar se move com maior velocidade sobre uma superfície, sua pressão diminui, enquanto que ao se mover com menor velocidade, sua pressão aumenta, portanto, concluímos que a pressão sobre um gás será menor quanto maior for a velocidade do meio. Com este princípio podemos explicar diversas forças aerodinâmicas em nosso cotidiano, como a utilização do princípio de Bernoulli na asa do avião⁴, por exemplo. Podemos evidenciar este princípio na prática fazendo uma experiência simples, utilizando apenas uma folha de papel.

Pegamos uma folha de papel por uma de suas extremidades e posicionemo-la a frente do nosso rosto na direção da nossa boca. Na Fig. 15 (a) percebemos que a folha de papel está posicionada para baixo, devido à ação da força gravitacional, portanto, a pressão acima e abaixo da folha é a mesma. Quando soprmos o ar na parte de cima da folha, o ar sofre um aumento da velocidade e “empurra” a camada pré-existente deixando uma zona de compressão, enquanto que na parte de baixo a velocidade se torna menor e a pressão é aumentada e teremos uma força resultante direcionada para cima, o que faz a folha subir, conforme a Fig. 15 (b).

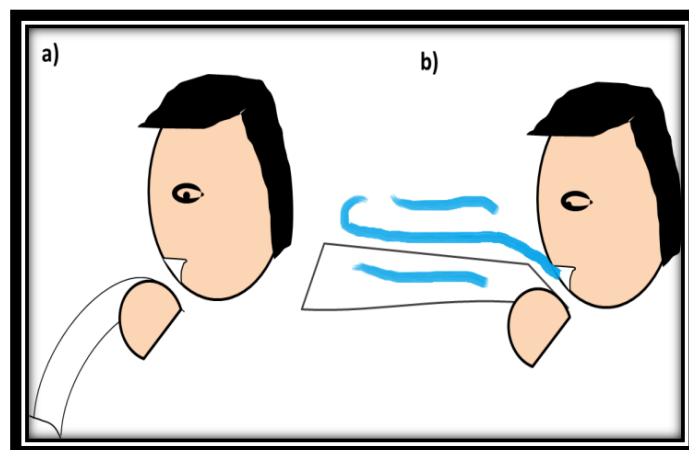


Figura 15- Representação experimental do princípio de Bernoulli. [9]

⁴ A aerodinâmica aplicada a asa do avião encontra-se no apêndice D.

4.3 A CRISE DO ARRASTO

Em condições naturais, a força de arrasto possui uma proporção direta com a velocidade, enquanto esta se mantiver até um valor de 72 km/h, porém, se esse limite de velocidade for ultrapassado, a resistência do ar sofre processo inverso e diminui de forma abrupta e permanece nesse decaimento até que a velocidade alcance o valor de 92 km/h. Esta redução drástica da resistência do ar é chamada de crise do arrasto, quando a velocidade alcança o valor limite de 72 km/h.

Em uma partida de futebol alguns jogadores imprimem a bola uma força de magnitude tamanha que a bola consegue alcançar uma velocidade que varia entre 110 e 130 km/h, ou seja, durante o jogo a bola passa diversas vezes pelo ponto de crise de arrasto. Esta crise está diretamente ligada ao comportamento da camada de ar que se forma em torno da bola, que damos o nome de “camada limite”.

A camada limite se verifica pela aderência das moléculas do ar à superfície da bola, é a região onde as moléculas tendem a mover-se juntamente com a bola, ocorre um fenômeno semelhante nas pás de um ventilador, ao acumular partículas de poeira em sua superfície⁵.

Para velocidades pequenas, a camada limite envolve completamente a esfera e dizemos que o escoamento do ar é laminar. Para maiores velocidades a camada limite separa-se da esfera gerando uma esteira, como mostra à Fig. 16.a. A crise de arrasto ocorre quando a camada limite torna-se turbulenta. A Fig. 16.b mostra o momento em que a esteira fica estreita (turbulenta), essa turbulência faz com que a camada resista melhor a tendência de separação. A contração dessa esteira reduz a área da esfera submetida a baixas pressões, causando a diminuição da resistência do ar, dando origem à crise de arrasto [14].

⁵ A relação da camada limite com as pás de um ventilador encontra-se no apêndice E.

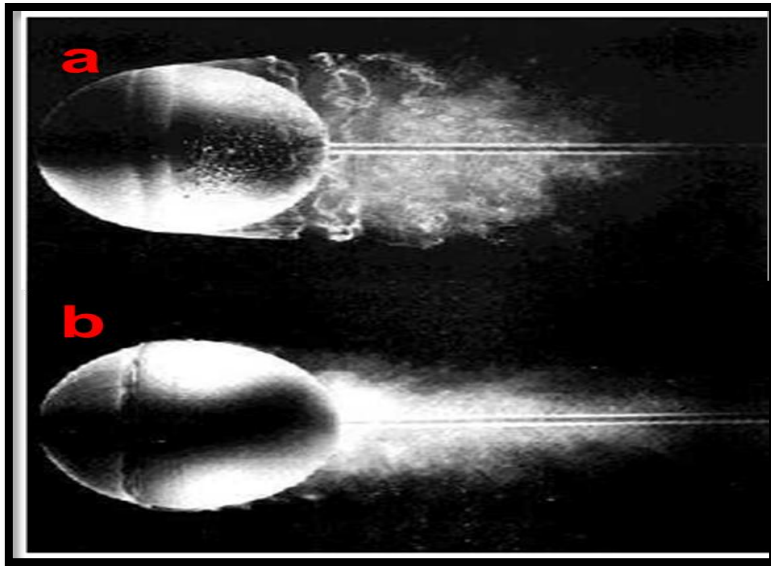


Figura 16-Camada laminar (a) e turbulenta (b) [15]. Imagem retirada da referência [14].

4.4 EFEITO MAGNUS

O Efeito Magnus, descoberto pelo químico e físico alemão Heinrich Gustav Magnus, explica o porquê de alguns objetos, como por exemplo, a bola de futebol, terem a tendência em mudar sua trajetória quando estão sujeitos a um fluido (líquido ou gás). Essa mudança acontece por causa da diferença de pressão na parte superior e inferior do mesmo devido à rotação do objeto.

A força de sustentação surge quando a bola gira em torno do seu centro, fazendo surgir uma força resultante que tem direção para cima, produzindo o chamado *efeito Magnus*. A explicação do efeito Magnus nas bolas esportivas é dada pelo comportamento da camada limite ao sofrer rotações.

4.4.1 O EFEITO DA BOLA

Quando chutamos uma bola ela tende a fazer uma curva no ar que descreve um arco de parábola, que inicialmente sobe e depois

começa a descer, isso acontece devido a ação da força gravitacional, que atrai os objetos para o centro da Terra. Quem nunca reparou quando, em um jogo de futebol a bola que tem tudo para seguir uma trajetória reta, faz uma curva? Ou seguir para a direita e acaba indo para esquerda? Ou então subir, mas desce? Este efeito se deve ao fenômeno chamado Efeito Magnus que ocorre quando há diferença de pressão nas partes superior e inferior de uma bola, onde é pertinente ao princípio de Bernoulli, vista no tópico 4.2.

Ao se arremessar uma bola no ar, esta entra em movimento de translação, se deslocando para o sentido da orientação do chute, e de rotação ao girar em torno de um eixo. A junção desses movimentos faz com que a bola siga uma trajetória curvilínea. Devido ao movimento girante, a bola “arrasta” uma grande quantidade de ar, que depende da rugosidade da bola, quanto mais rugosa for a bola maior será a quantidade de ar por ela arrastada e o seu efeito será ainda maior.

Quando a bola está imersa em camadas de ar, dependendo do tipo de movimento que ela está realizando, as correntes de ar vão se comportar de maneiras distintas, por exemplo, vamos supor que a bola está fazendo um movimento de translação ao passar por uma corrente de ar estacionária, a bola passa com uma velocidade baixa pela corrente e não ocorre turbulência no sistema, como podemos observar na Fig. 17.

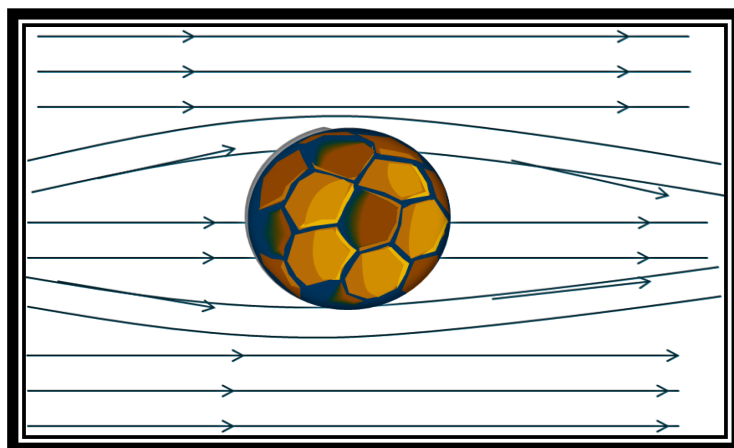


Figura 17- Bola sem giro, escoamento estacionário [9].

Se a bola passar pela mesma corrente de ar, porém, fazendo o movimento de rotação a velocidade da bola será maior que no caso anterior, por causa do aumento dessa velocidade a bola irá arrastar certa camada de ar. É importante lembrar que se não existisse viscosidade e tão pouco camada limite a bola não arrastaria o ar e este feito de bola girante, como na Fig. 18, não poderia ocorrer.

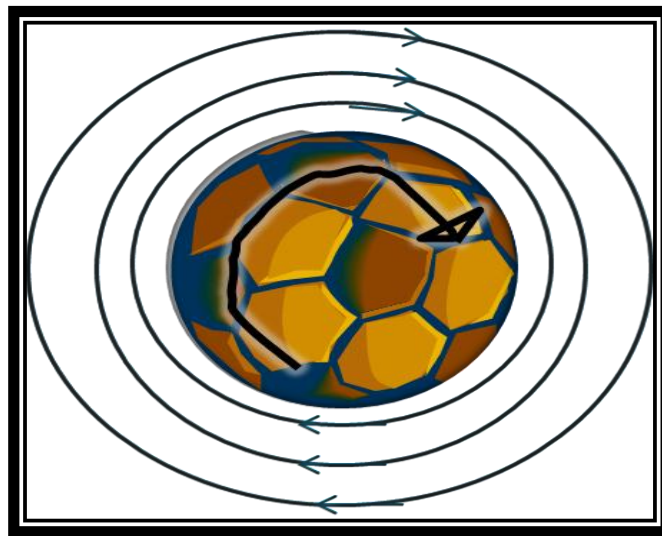


Figura 18- bola com giro e escoamento estacionário[9].

Quando os efeitos são combinados teremos a velocidade de giro (na bola) e a velocidade de escoamento (do fluido). Se a bola girar no sentido horário, conforme a Fig.19, a velocidade de giro da bola, tangencial, e de escoamento do fluido, na parte superior, faz com que nessa região a velocidade seja somada e por consequência do princípio de Bernoulli, a pressão diminuirá. Na parte inferior, a velocidade de giro é oposta ao sentido da velocidade de escoamento, com isso as velocidades serão subtraídas e a velocidade nessa região será menor, por consequência a pressão será maior. A consequência dessa associação de movimentos é o desvio na trajetória da bola, que nesse caso é dado pela força de sustentação na direção vertical e no sentido de baixo para cima, ou seja, no mesmo sentido da força resultante.

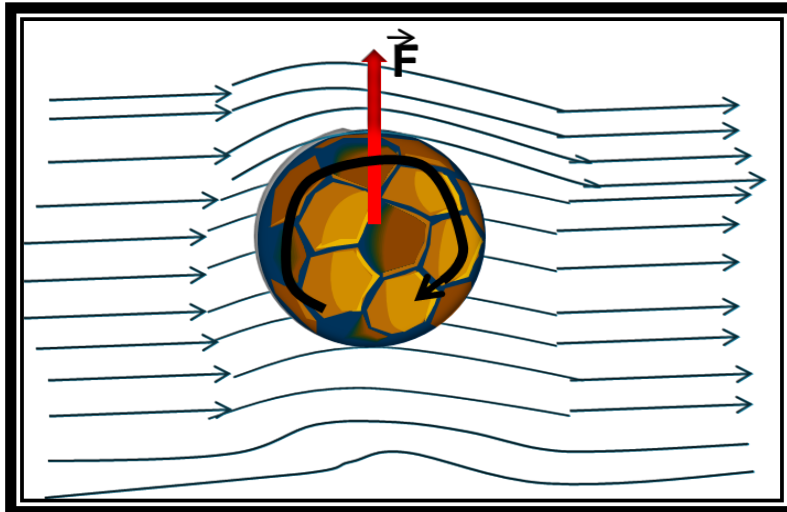


Figura 19- bola de efeitos com movimentos simultâneos de rotação e translação[9].

Analogamente temos a Fig. 20, com o mesmo fenômeno, mas que se manifesta no sentido de cima para baixo devido a velocidade de giro da bola, na parte superior, está no sentido oposto a velocidade escoamento do fluido.

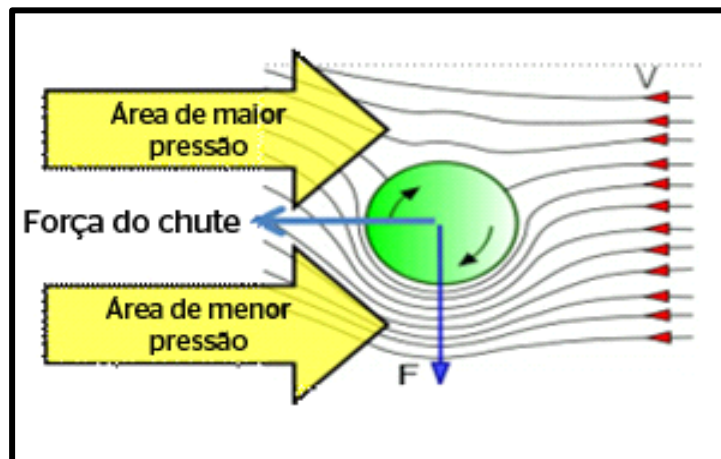


Figura20-Linhas de fluxo de ar quando a bola é lançada com movimento misto [16].

Percebemos que a força de Magnus se manifestará sempre perpendicular às velocidades e ao eixo de rotação. A Fig. 21, só torna a reforçar isso. Também mostra como as forças, velocidade e pressões estão distribuídas, através dos vetores podemos perceber onde as velocidades irão ser somadas e subtraídas, de forma a afirmamos a direção que ocorrerá a força de Magnus [17].



Figura21- Força resultante com o efeito Magnus [18].

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se ter em mãos uma monografia intitulada “A FÍSICA DO FUTEBOL”, o leitor não aprenderá técnicas para se jogar futebol mas aprenderá artifícios físicos para fazer uma jogada favorável, desde que saiba fazer uma unificação harmoniosa entre elementos da natureza, como o ar, e elementos técnicos, como as regras do jogo, a bola ideal, condições de pressão e temperatura do fluido e forças resultantes.

Nesta monografia vimos que qualquer fluido exerce uma força de resistência em um corpo em movimento e esta força resistiva depende de fatores, como a velocidade do corpo, sua área frontal, o material de que ele é feito e sua densidade. Diante de tais informações, podemos considerar o ar como sendo um dos agentes mais importantes para uma boa partida futebolística.

Ao levarmos essas informações para sala de aula podemos abrir um leque de conteúdos diversos a serem trabalhados, a partir do tema em questão, como por exemplo: Leis de Newton, movimento uniforme, movimento variado, conservação de movimento linear e angular, princípio de Bernoulli, lançamento oblíquo, força de arrasto, efeito Magnus, forças resistiva e dinâmica da bola de futebol. Vale ressaltar que os exemplos não se resumem aos mostrados neste trabalho, podemos estudar efeitos semelhantes aos da Física do futebol em outros esportes, como: golfe, basquete, tênis e etc. Basta um pouco de paciência e muita dose de criatividade para relacionar os diferentes meios de esporte e fazer um estudo relacionado a Física para levar aos alunos uma aula divertida, prazerosa e repleta de curiosidades, afinal de contas a curiosidade é o princípio fundamental que norteia e persegue todo pesquisador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS TEXTUAIS.

[1] *Representação de Robson Moreira: futebol na antiguidade. In: memórias corinthianas. Disponível em:*

http://memoriascorinthianas.blogspot.com.br/2009_09_01_archive.html

[2] *Logo da FIFA 2014. In: minuto ligado. Disponível em:*

<http://minutoligado.com.br/esportes/futebol/fifa-world-cup-2014/#>

[3] *Charles Miller 'pai do futebol brasileiro'. In: The Football Association at 150.*

Disponível em: <http://sports.xin.msn.com/the-football-association-at-150-9?page=8>

[4] M. DUARTE e E. OKUNO; Física do Futebol: Mecânica; oficina de textos; SP (2012).

[5] *Porta-vinho, um dos objetos utilizados como bola. In:*

campeoesdofutebol.com.br. Disponível em:

http://www.campeoesdofutebol.com.br/evolucao_bola_futebol.html

[6] *A bola mais antiga já encontrada. In: campeoesdofutebol.com.br. disponível*

em: <http://carzem.blogspot.com.br/2010/07/evolucao-tecnologica-da-bola-utilizada.html>

[7] *As bolas mais antigas até as mais atuais. In: blog do Carzem. Disponível*

em: <http://carzem.blogspot.com.br/2010/07/evolucao-tecnologica-da-bola-utilizada.html>

[8] *física no futebol. In: física na veia. Disponível em:*

http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/arch2009-07-05_2009-07-11.html

[9] *imagem de autoria da autora.*

[10] *Força e seu efeito de deformação. In: educação, ciência e tecnologia.*

Disponível em: <http://educitec.blogspot.com.br/2012/05/sobre-elasticidade.html>

[11] W. CARRON e O. GUIMARAES: As Fáceis da Física: volume único;

Moderna; SP (1997): pag.

- [12] *Representação da força de ação e reação. In: vídeo-aula. Disponível em:* <http://www.videoaulasbyana.com.br/tag/resistencia/>
- [13] *Representação das forças atuantes na bola de futebol. In: expresso on-line. Disponível em:* <http://www.jornalexpresso.com.br/futebol-escolinha-de-bc-da-oportunidades-a-atletas-carentes/>
- [14] C.E. AGUIAR e G. RUBINI; A Aerodinâmica da bola de Futebol, RBEF, p.297. ANO DE PUBLICAÇÃO.
- [15] *Camada laminar e turbulenta. Disponível na referência [14].*
- [16] *Linhas de fluxo de ar quando a bola é lançada com movimento misto. In: estado quântico. Disponível em:* <http://estadoquantico.blogspot.com.br/2011/01/efeito-magnus.html>
- [17] R. RESNICK, D. HALLIDAY e K.S KRANE; Física; vol. 2; 5ª edição; LTC; RJ (2011); pág. 60- 68.
- [18] *Força resultante com o efeito Magnus. In: intellectus. Disponível em:* <http://www.cursointellectus.com.br/blog/sem-categoria/efeito-magnus>
- [19] *A resistência do ar à descida do paraquedista. In: a arte na fotografia. Disponível em:* http://www.fotosefotos.com/page_img/14667/paraquedas_agua_viva
- [20] *Bolas de futebol. In: quadro de medalhas. Disponível em:* <http://www.quadrodemedalhas.com/futebol/copa-do-mundo/bolas-oficiais-da-copa-do-mundo.htm>

APÊNDICE A: LANÇAMENTO OBLÍQUO

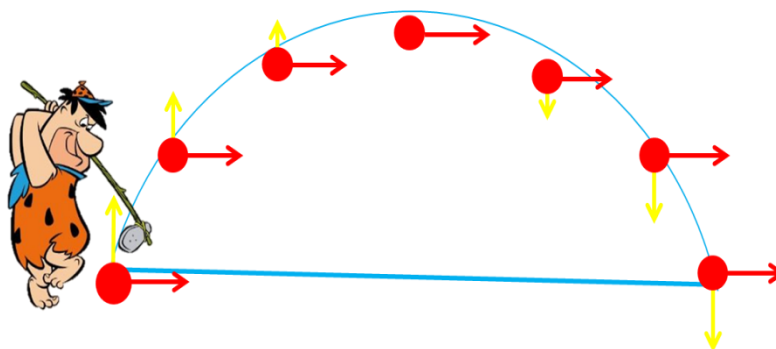


Figura 22-representação do movimento oblíquo [9].

Movimento oblíquo é um movimento parte vertical e parte horizontal. Com os fundamentos do movimento vertical, sabe-se que, quando a resistência do ar é desprezada, o corpo sofre apenas a aceleração da gravidade. No lançamento oblíquo ou lançamento de projéteis, o móvel se deslocará para frente em uma trajetória que vai até uma altura máxima e depois volta a descer, formando uma trajetória parabólica. Deve-se considerar o movimento oblíquo como sendo resultante de dois movimentos: um na vertical e outro na horizontal. Onde, na direção vertical (eixo Y), o corpo realiza um movimento uniformemente variado, com velocidade inicial igual a V_0 e a aceleração da gravidade g . Na direção horizontal o corpo realiza um movimento uniforme com velocidade constante.

Veja a figura acima, durante a subida a velocidade vertical diminui, pois chega a um ponto onde a velocidade é igual a zero (altura máxima⁶). E desce aumentando a velocidade. O alcance máximo⁷ é a distância entre o ponto do lançamento e o ponto da queda do corpo, ou seja, altura igual a zero. A velocidade instantânea é dada pela soma vetorial das velocidades horizontal e vertical. O vetor velocidade é tangente a trajetória em cada momento.

⁶ Fórmula da altura máxima: $h = v_0^2 \cdot \text{Sen}2\theta / 2g$.

⁷ Fórmula do alcance máximo: $A = v_0^2 \cdot \text{Sen}2\theta / g$.

APÊNDICE B: MOVIMENTO RELATIVO

Em cinemática estudamos os movimentos de um corpo qualquer e chamamos esse corpo, genericamente, de móvel. Em quais condições podemos afirmar se um móvel está ou não em movimento? A posição é fundamental para o estudo do movimento e que é relacionada sempre a um ponto de referência. Assim podemos dizer que um corpo se encontra em movimento quando ele muda de posição, em relação a um ponto de referência, no decorrer do tempo. Do contrário, ele encontra-se em repouso. Estas condições não invalidam a possibilidade de este corpo está em movimento em relação a um observador e em repouso em relação a outro. Portanto, dizemos que o movimento é relativo, pois depende do referencial em questão.

Para a mecânica, o que interessa é que o sistema utilizado como referência não seja acelerado, isso significa que o sistema de referência deve ser inercial, onde as leis de movimento são válidas. No caso da bola de futebol, utilizamos como referencial o próprio campo de futebol, pois o jogo só começa quando a bola sai do repouso em relação ao campo de futebol e entra em movimento em relação ao mesmo, e é claro, se a ela for aplicada uma força.

APÊNDICE C: EXEMPLOS COTIDIANOS DA FORÇA DE ARRASTO

C.1 NA FOLHA DE PAPEL

Quando seguramos uma folha de papel pela borda e a movimentamos, no sentido de atravessar o ar, percebemos que o papel tende a dobrar sempre na direção oposta a do movimento. Isso se deve a resistência do ar e a terceira lei de Newton, assim como a folha empurra o ar para baixo ou para cima, o ar tende a empurrar a folha também na mesma direção, com mesma intensidade, mas em sentidos opostos. A fig. 12 representa este tipo de movimento.



Figura 23- Representação do experimento simples da folha de papel [9].

C.2 NO CARRO

Um carro com uma boa ‘aerodinâmica’ sente menos força de arrasto, pois gera uma menor resistência a passagem do ar. O que influencia muito é a área do carro (assim como em qualquer corpo) quando vista de frente. Quanto menor for essa área menor será a força de arrasto sobre ele. Ou seja, a força de arrasto é proporcional a área frontal do corpo em movimento. Observemos a fig. 13, ela mostra a área frontal do carro, devido sua extensão, pode gerar maior força de arrasto.

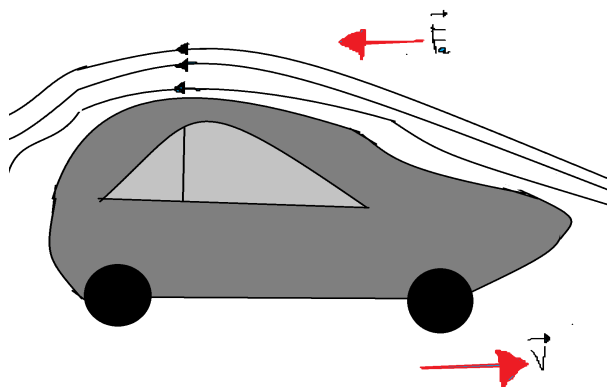


Figura 24- Representação da força de arrasto na parte frontal de um carro [9].

C.3 NO PARAQUEDAS

Para um paraquedista, a força de arrasto é de extrema importância, pois para que sua aterrissagem seja segura, é necessário que a velocidade do paraquedas diminua a medida que ele se aproxima do chão. Neste caso quanto maior for a área do paraquedas, maior será a resistência do ar. Pois como vimos a força de arrasto do ar é proporcional a área frontal de um corpo em movimento e esta, sendo maior, acarretará na redução da velocidade.



Figura 25- A resistência do ar à descida do paraquedista [19].

C.4 NO ABANADOR

Para um abanador eficiente é necessário que ele seja grande e resistente, pois quanto maior a folha (a área) mais ar ele empurra (maior é a resistência do ar), este deve ser resistente o suficiente, para não dobrar como a folha de papel dada no 1º exemplo.



Figura 26-representação de um abanador e seu movimento [9].

C.5 NAS BOLAS UTILIZADAS NOS ESPORTES

Vimos como a força de arrasto surge quando a bola de futebol é chutada, mas para complementar, precisamos lembrar que a força de arrasto do ar é proporcional a área frontal do corpo em movimento, logo no caso da bola de futebol, essa área e formato são constantes, pois são padronizados pela FIFA, e por isso podemos dizer que todas as bolas de futebol sofrem a mesma resistência se chutada com mesma velocidade. Tomemos cuidado ao falar isso, pois, dependendo da altitude, onde está se jogando futebol, a força de resistência também pode variar.



Figura 27- Bolas de futebol [20]

APÊNDICE D: AERODINÂMICA NA ASA DE UM AVIÃO.

A asa de um pássaro tem forma aerodinâmica perfeita chamada de aerofólio, e serviram de modelo para as asas de aviões. As asas de um avião funcionam da seguinte forma: a parte superior da asa do avião é curva enquanto que a inferior é plana, figura 17. Devido a essas características da asa, o ar que passa sobre (em cima) a asa percorrerá uma distância maior que o ar que passa sob (em baixo) a asa, nessas condições, para que ambos a atinjam ao mesmo tempo, o ar sobre a asa deve ter maior velocidade, ou seja, ser mais rápido que o ar sob a asa, logo, o ar que se desloca sobre a asa tem uma velocidade maior e consequentemente uma pressão menor que o ar que se desloca sob a asa. Dessa forma, a pressão do ar debaixo da asa é maior que a pressão do ar em cima, essa diferença na pressão gera uma força chamada força de sustentação, que empurra o avião para cima.

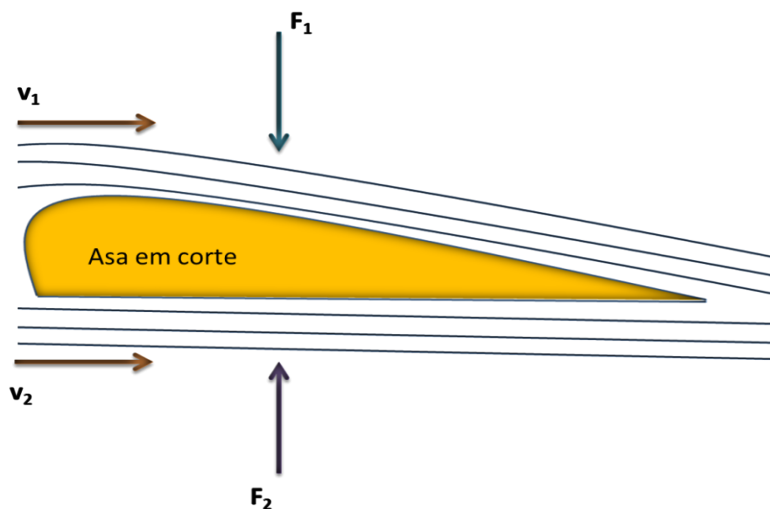


Figura 28-Representação das forças atuantes na asa de um avião [9].

APÊNDICE E: A CAMADA LIMITE E RELAÇÃO COM AS PÁS DE UM VENTILADOR

Com o efeito da crise de arrasto e camada limite, já mencionadas, podemos explicar como a poeira se acumula nas superfícies das palhetas de um ventilador. Assim como na superfície de uma bola, num ventilador também possui camada limite, é nela que se acumulam as partículas de poeiras, ou seja, onde não há ventos para varrê-las, logo a poeira acumulada são as moléculas de ar que se aderiram as pás do ventilador quando este gira, de modo a formar a camada limite sobre sua superfície. Agora já sabemos por que sempre tem poeira nas palhetas, mesmo quando o ventilador é sempre utilizado.