

# SITUAÇÕES DO FUTEBOL E A FÍSICA: CONEXÕES POSSÍVEIS

## SITUATIONS OF SOCCER AND THE PHYSICS: POSSIBLE CONNECTIONS

**André Coelho da Silva**

Mestre em Educação e Licenciado em Física pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp),  
andco\_8@yahoo.com.br

### Resumo

Muitos autores têm sugerido abordagens que possam vir a ampliar a participação dos estudantes em sala de aula. Mais especificamente no que diz respeito ao ensino de física, uma das possibilidades é relacionar os conteúdos dessa disciplina a situações que ocorrem nos esportes. Neste trabalho, ao optar por investigar possíveis relações entre a física e o futebol, além de realizar uma revisão de literatura acerca de estudos que procuraram tecer comentários e/ou sugerir atividades que abordem possíveis aspectos dessa relação, sugiro três atividades em que procuro utilizar conceitos da física para elucidar elementos inerentes a esse esporte.

**Palavras-chave:** futebol, proposta didática, Ensino Médio, esportes.

### Abstract

Many authors have suggested approaches that may increase student participation in the classroom. More specifically with regard to physics education, one of the possibilities is to relate the contents of this discipline to situations that occur in sports. In this paper, by choosing to investigate possible relationships between physics and football, besides conduct a literature review about scientific studies that comment and/or suggest possible activities that discuss aspects of this relationship, I suggest three activities in which I try to use physics concepts to elucidate elements inherent to this sport.

**Keywords:** soccer, didactic proposal, High School, sports.

### Introdução

Muitos trabalhos têm sugerido que aproximar os conteúdos curriculares aos interesses e à realidade dos estudantes poderia tornar as aulas mais agradáveis e significativas (Zanetic, 1989; Dayrell, 1996; Fourez, 2003; Ricardo *et al.*, 2007; Dias *et al.*, 2009; entre outros).

No ensino de física, uma das muitas maneiras de se fazer isso é tomar situações que ocorrem nas práticas esportivas como exemplos reais que podem ser compreendidos com o auxílio de conceitos científicos.

Hennekam (1990), por exemplo, analisou os efeitos de leis da mecânica no que diz respeito à velocidade de bicicletas, sugerindo, também, formas de aumentar a velocidade que tais veículos podem atingir.

Já Hennekam e Govers (1996) discutiram um método para determinar o atrito de rolamento e o fator de arrasto do ar associados ao ciclismo. Após apresentarem a teoria envolvida e realizarem e analisarem alguns experimentos, os autores afirmaram que o método sugerido mostrou-se rápido e confiável.

Gomes e Parteli (2001), por sua vez, pautados nos conceitos de força e de potência – entre outros -, analisaram questões inerentes às atividades físicas de andar, correr, nadar e pular. Foram investigados também os recordes olímpicos atingidos em provas de atletismo. Por fim, os autores sugerem que discutir essas questões pode motivar os estudantes pelo estudo da física.

Parker (2001) evidenciou o que são “plataformas de força”<sup>1</sup>, bem como, de que maneira especialistas em biomecânica a utilizam para avaliar o desempenho esportivo de atletas de diferentes modalidades. No que diz respeito ao ensino de física, o autor sugere que o uso e mesmo as discussões a respeito desse aparato, pode auxiliar no entendimento e na demonstração das três leis de Newton.

Já Júdice e Veloso Júnior (2002) descrevem o desenvolvimento de uma atividade prática de rapel, a qual poderia ser analisada a partir de tópicos e conceitos físicos como os de movimento retilíneo uniforme, aceleração, decomposição de forças, energia potencial gravitacional e energia cinética. Embora não defendam a aquisição de conhecimento como relevante apenas quando ele é aplicável, os autores afirmam que não há desvantagens em tal aplicabilidade. Júdice e Veloso Júnior (2002) apontam três justificativas acerca da relevância do trabalho: a motivação que propiciaria aos estudantes, a contextualização do ensino e a inovação metodológica.

Santiago e Martins (2009), pautados nas teorias do movimento uniformemente variado e do movimento circular uniforme, desenvolveram um modelo físico que visa calcular a força de um golpe de karatê. Além disso, os autores apresentaram brevemente a origem do karatê e alguns aspectos culturais relacionados a esse esporte. Em conjunto, esses elementos proporcionariam discussões envolvendo a física, a biologia, a história, a geografia e a filosofia. Por fim, friso que Santiago e Martins (2009) acreditam na potencialidade de realçar as relações entre a física e os esportes, especialmente porque os jovens contemporâneos seriam fascinados por eles enquanto praticantes ou torcedores.

Já Spathopoulos (2010), ao considerar que os esportes são praticados, assistidos e acompanhados fanaticamente por boa parte dos jovens, sugere atividades que podem subsidiar professores de física que desejam tornar suas aulas mais interessantes. Nesse sentido, baseando-se em dados do campo da ciência esportiva, o autor apresenta modelos físicos que permitiriam compreender elementos relacionados à prática de sete esportes: a corrida, o ciclismo, o salto com vara, o arremesso de peso, o futebol, o salto

---

<sup>1</sup> Equipamentos que permitem medir e interpretar a ação de forças.

de esqui e o basquete. Por fim, ressalto que os conceitos físicos discutidos abrangem tópicos relacionados à cinemática e à mecânica.

De maneira similar ao que fizeram os trabalhos supracitados, neste trabalho procuro relacionar aspectos inerentes aos esportes a aspectos inerentes à física. Nesse sentido, tendo em vista o fato de que o futebol é o esporte mais praticado e acompanhado em território nacional<sup>2</sup>, opto por investigar as possíveis intersecções entre a física e o futebol. Dessa forma, num primeiro momento, apresento uma revisão de literatura onde busquei por artigos científicos que procuraram tecer comentários e/ou sugerir atividades que abordam possíveis aspectos da relação entre a física e o futebol. Num segundo momento, atentando para as considerações dos trabalhos selecionados, apresento uma coletânea de três atividades em que utilizo conceitos físicos para elucidar elementos e/ou situações ocorridas em partidas de futebol. Mais especificamente, procuro: complementar as discussões realizadas por Ireson (2001), Aguiar e Rubini (2004), Medeiros (2004) e Spathopoulos (2010) acerca do efeito Magnus; tomar um gol feito do meio-campo como exemplo de situação real que pode ser analisada a partir dos conceitos e equações da cinemática; e apresentar brevemente como funciona a nova tecnologia que identifica se a bola de futebol cruzou ou não a linha do gol.

### **Revisão de Literatura: metodologia e resultados**

Busquei pela palavra “futebol”<sup>3</sup> no conteúdo dos artigos científicos publicados pelos seguintes periódicos: A Física na Escola (Brasil), Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia (Brasil), Caderno Brasileiro de Ensino de Física (Brasil), Ciência & Educação (Brasil), Ciência & Ensino (Brasil), Ciência em Tela (Brasil), Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências (Brasil), Experiências em Ensino de Ciências (Brasil), Investigações em Ensino de Ciências (Brasil), Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia (Brasil), Revista Brasileira de Ensino de Física (Brasil), Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (Brasil), International Journal of Science Education (Reino Unido), Physics Education (Reino Unido), Research in Science & Technological Education (Reino Unido), Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (Espanha), Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias (Argentina) e Science & Education (EUA).

Ressalto também, que as buscas foram feitas em todas as edições publicadas até março de 2013.

Por fim, devo frisar que selecionei apenas artigos cujo acesso integral a seu conteúdo estava disponível a partir de um computador de uma universidade pública estadual paulista (lembrando que alguns periódicos internacionais não disponibilizam acesso integral a todos os artigos).

Tendo esclarecido a metodologia adotada para a realização da revisão bibliográfica, apresento na Tabela 1 os artigos selecionados, bem como o periódico em que foram publicados.

---

<sup>2</sup> Segundo Spathopoulos (2010), o futebol é também o esporte mais popular do mundo.

<sup>3</sup> Tomando o cuidado de buscar pelas palavras “football” e “soccer” nos periódicos de língua inglesa; e pela palavra “fútbol” nos periódicos de língua espanhola.

Atentando para a Tabela 1, nota-se que foram encontrados apenas sete artigos que tecem comentários entre a física e o futebol. Além disso, foram encontrados artigos em apenas quatro dos dezoito periódicos buscados, sendo o mais antigo deles de 2001 e o mais recente de 2011 – o que parece indicar que trabalhos dessa natureza começaram a ser explorados recentemente.

Tabela 1: Artigos selecionados a partir da busca realizada

Artigo	Periódico
Ireson (2001) James (2008) Spathopoulos (2010)	Physics Education
Aguiar e Rubini (2004) Delfim e Jesus (2011)	Revista Brasileira de Ensino de Física
Medeiros (2004)	A Física na Escola
Machado e Potiguar (2011)	Caderno Brasileiro de Ensino de Física

Passo agora a apresentar uma breve síntese de cada um dos artigos selecionados, começando pelo mais antigo até chegar aos mais recentes.

Segundo Ireson (2001), por interessar a muitos estudantes, o futebol pode auxiliar o ensino de conteúdos de física. Dessa forma, tomando como exemplo cobranças de falta<sup>4</sup> realizadas pelo jogador inglês David Beckham, o autor discutiu conceitos como os de arrasto e efeito Magnus, entre outros, e analisou quantitativamente algumas situações. Ressalto ainda, que, em relação às cobranças de falta, Ireson (2001) discutiu brevemente dois possíveis casos: quando a bola “contorna” a barreira, passando “por fora” da mesma (influência do efeito Magnus) e quando a bola passa por cima da barreira – situação que exemplifica o lançamento de um projétil.

Aguiar e Rubini (2004) estudaram as forças aerodinâmicas que agem em uma bola de futebol. Em especial, pautados em um lance de Pelé (“o gol que Pelé não fez”<sup>5</sup>) e nos chutes “folha seca” de Didi, discutiram a “crise do arrasto” e o efeito Magnus. Após simulações computacionais e análises, os autores evidenciaram a importância da “crise do arrasto” e do efeito Magnus no que diz respeito à dinâmica do futebol. Por fim, afirmaram também que relacionar a física ao futebol pode motivar os estudantes para o estudo de muitos tópicos dessa disciplina.

<sup>4</sup> Segundo o documento “Laws of the Game”, disponibilizado no site da FIFA, entidade máxima do futebol mundial, a infringência das regras ou a adoção de más condutas por parte dos jogadores deve ser punida. Entre as punições, está o direito ao adversário de realizar uma “cobrança de falta”. Situação essa em que a bola permanece parada e o jogo recomeça apenas quando o jogador efetua a cobrança da falta, isto é, quando o jogador chuta a bola, muitas vezes visando um tiro direto ao gol. Nenhum jogador do time adversário àquele que cobrará a falta pode ficar a uma distância menor que 9,15 m da posição da bola. Assim, a essa distância da bola é comum a formação de uma “barreira”, isto é, uma fila de jogadores que tentará atrapalhar o cobrador.

<sup>5</sup> <<https://www.youtube.com/watch?v=SMfyVCpQBA0>>. (Acesso em: 01 ago. 2014)

Medeiros (2004), por sua vez, analisou distorções conceituais da física apresentadas por narradores e comentaristas esportivos de futebol, tênis, hóquei, automobilismo, basquete e atletismo. Segundo o autor, há uma relação íntima entre a física e os esportes, uma vez que a primeira poderia explicar situações que ocorrem em atividades esportivas – o que, em consequência, constituir-se-ia num elemento motivador para o ensino da física. Após analisar diversos exemplos em que concepções equivocadas foram veiculadas pelos meios de comunicação, Medeiros (2004) afirmou não saber o que pode ser feito para tentar suavizar essas referências equivocadas na formação científica da população, sugerindo, todavia, que esses equívocos sejam discutidos em sala de aula:

[...] uma análise das concepções alternativas, sobre certos conteúdos da Física, apresentadas por tais personagens, pode servir como um complemento em abordagens educacionais mais ecléticas. Aliada a outras metodologias de ensino que incluam, por exemplo, experimentos, informações históricas, dramatizações, tecnologia educacional e tantas outras coisas mais, a discussão das concepções sobre os fenômenos físicos presentes no imaginário dos profissionais da mídia desportiva, parece-nos apresentar-se como um complemento dotado de um grande potencial de motivação que merece, portanto, ser convenientemente explorado em nossas salas de aula. p. 14

James (2008) discutiu acerca dos desenvolvimentos tecnológicos que atingiram esportes como o tênis, o atletismo e o futebol. Mais especificamente a respeito deste último, o autor traçou um panorama histórico no que diz respeito à produção de bolas – especialmente em relação à absorção de água em dias de chuva (encharcamento da bola) e à força de arrasto experimentada por elas. Segundo James (2008), essas discussões, juntamente com alguns dados apresentados, poderiam interessar os estudantes e auxiliá-los no entendimento de alguns conceitos físicos básicos. Finalizando, defendeu a posição de que a tecnologia pode ajudar os atletas, mas nunca substituí-los.

Um dos esportes abordados por Spathopoulos (2010) é o futebol. Mais especificamente, o autor procurou apresentar a trajetória de uma bola de futebol enquanto um complexo mecanismo aerodinâmico. Nesse sentido, afirmou que as bolas de futebol em movimento estão sujeitas à força gravitacional, à força de arrasto e à força de Magnus (responsável pelas trajetórias curvas) - a qual é abordada em maiores detalhes.

Delfim e Jesus (2011) analisaram o processo de marcação de impedimentos<sup>6</sup> no futebol, concluindo pela impossibilidade de o árbitro assistente o fazer de maneira acertada em todos os casos. A análise foi pautada em estimativas para o campo de visão e para o tempo de giro do pescoço associado aos seres humanos. Tendo em conta esses valores, os autores também estimaram o deslocamento de jogadores quando da realização de jogadas que devem ser julgadas como legais ou não pelo árbitro assistente.

---

<sup>6</sup> Segundo o documento “Laws of the Game”, disponibilizado no site da FIFA, o impedimento é um situação de jogo em que os jogadores estão impedidos de participar das jogadas devido à posição que ocupam dentro do campo. Assinalar ao árbitro principal que certo jogador está “impedido” é função dos árbitros auxiliares, os chamados “bandeirinhas”. Para realizar essa função, é necessário visualizar qual é a posição ocupada pelo jogador quando da ocorrência de determinadas jogadas.

Já Machado e Potiguar (2011) utilizaram métodos numéricos para analisar o que pode ocorrer quando uma bola chutada ao gol toca o chão girando antes de chegar ao goleiro. Segundo os autores, por ser o esporte mais praticado no mundo e pelo fascínio que desempenha sobre todas as idades, seria interessante utilizar o futebol como contexto pedagógico para as aulas de física. Dessa forma, sugerem que a atividade apresentada possa auxiliar graduandos em física ou engenharia no estudo de alguns conceitos de mecânica clássica. Após realizarem a análise objeto do estudo, Machado e Potiguar (2011) concluem que embora a dissipação energética exista, ela não impede o aumento de uma das componentes da velocidade. Nesse sentido, dependendo das condições, uma bola de futebol que apresenta rotação no momento em que toca o chão poderá ter sua velocidade tangencial aumentada, o que evidenciaria a conversão da energia em outros tipos e a ação do atrito como força motora (e não apenas como força dissipativa).

Em síntese, embora haja distinções em relação aos assuntos abordados e à forma de fazê-lo, há predominância de artigos que discutem aspectos associados à aerodinâmica da bola de futebol, destacando-se a discussão do efeito Magnus. Assim, acredito que muitos outros possíveis elementos de intersecção entre a física e o futebol ainda podem vir a ser explorados.

## **A Física e o Futebol: uma coletânea de sugestões**

Os estudos brevemente sintetizados acima sugerem de maneira unânime que explicitar possíveis relações entre conteúdos da física e situações associadas ao futebol pode favorecer o processo de aprendizagem dessa disciplina. Tendo em vista essa consideração e ainda o fato de que o Brasil acabou de sediar a Copa do Mundo (2014), sugiro abaixo três possibilidades didáticas que propiciam o relacionamento da física ao futebol. Friso ainda que as propostas são voltadas para aulas de física do Ensino Médio.

### **I) O Efeito Magnus**

Nesta seção, procuro complementar as discussões realizadas acerca do efeito Magnus por Ireson (2001), Aguiar e Rubini (2004), Medeiros (2004) e Spathopoulos (2010).

O efeito Magnus ocorre quando um corpo (como uma bola, por exemplo) realiza simultaneamente movimentos de translação e de rotação. Nesse caso, fica estabelecida uma diferença de pressão entre as diferentes regiões junto ao corpo. Como consequência dessa diferença de pressão, surge uma força resultante ( $F$ ), de modo que a trajetória do corpo será alterada pela ação dessa força.

A Figura 1 ilustra o movimento de translação de uma bola para a direita simultaneamente a seu movimento de rotação em sentido horário.

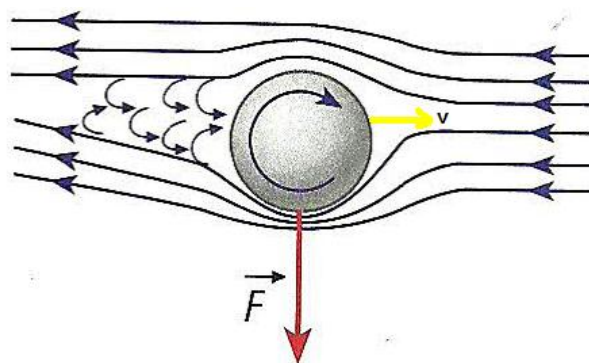


Figura 1 - O movimento de uma bola

Ressalto que  $v$  representa a velocidade de translação da bola e  $F$  a força de Magnus. As setas da direita para a esquerda representam o fluxo do ar (resistência ao movimento da bola).

Na região superior da bola, o sentido de seu giro é contrário ao sentido do fluxo do ar. Considerando que ao se deslocar a bola arrasta consigo um pouco de ar, na parte superior da bola a velocidade resultante do ar será menor do que na parte inferior (onde os sentidos do giro da bola e do fluxo do ar coincidem). Aplicando à nossa análise a equação de Bernoulli (que nada mais é do que o princípio da conservação da energia aplicado para analisar o comportamento de fluidos), chegaremos à conclusão de que menor velocidade implica em maior pressão. O que resulta, então, no surgimento da força de Magnus. Vale frisar ainda, que essa força é sempre perpendicular à velocidade de translação do corpo.

Se a bola da Figura 1 estivesse girando no sentido anti-horário, a força resultante apontaria verticalmente para cima, afinal, a pressão do ar na região inferior da bola seria maior que a pressão do ar na região superior.

O efeito Magnus permite explicar como podem acontecer lances em que as bolas de futebol realizam curvas incríveis, tais como o surpreendente gol do jogador brasileiro Roberto Carlos contra a França<sup>7</sup> em partida amistosa realizada em 1997 e o gol anulado do também brasileiro Thiago Silva em partida disputada em 21/04/2013 válida pelo Campeonato Francês<sup>8</sup>. Por fim, destaco que Ireson (2001), Aguiar e Rubini (2004) e Spathopoulos (2010) apresentam o formalismo matemático associado ao efeito Magnus – o qual optei por não apresentar devido à relativa sofisticação e à consequente dissonância com os objetivos deste trabalho. Apesar disso, considero interessante abordar quantitativamente lances de partidas de futebol como aquele que fora mencionado no parágrafo anterior.

## II) Análise cinemática de um gol do meio-campo

Nesta seção, pautado nos conceitos e equações da cinemática, analiso o gol feito do meio-campo pelo então jogador do Palmeiras, Diego Souza, em jogo realizado no Estádio Palestra Itália (São Paulo) contra o Atlético Mineiro e válido pelo Campeonato

<sup>7</sup> <<http://www.youtube.com/watch?v=4fi3CuswF0Q&feature=related>> (Acesso em: 07 mar. 2013).

<sup>8</sup> <<http://www.youtube.com/watch?v=6icmBy3Mbig>> (Acesso em: 08 nov. 2013).

Brasileiro de Futebol de 2009<sup>9</sup>. Lances mais recentes também podem ser analisados de maneira muito similar - tais como o gol marcado por Martin Hinteregger<sup>10</sup> em jogo amistoso realizado em julho de 2013 entre seu time, o Red Bull Salzburg (Áustria) e o Schalke 04 (Alemanha); o gol contra marcado por Stefan Seufert em jogo válido pela 4ª divisão do campeonato alemão de 2013<sup>11</sup>; o gol marcado por Ruan<sup>12</sup>, jogador do Guaratinguetá, em partida disputada em 19/10/2013 e válida pela série B do Campeonato Brasileiro de 2013; e o gol marcado por Gessé, do Atlético-AC em jogo realizado em 20/04/2014 pelo campeonato acreano<sup>13</sup>. Vale ressaltar ainda, que lances como esses, dada sua raridade dentro do futebol, sempre acabam se transformando em notícia.

No gol de Diego Souza, o jogador chuta a bola pouco a frente do meio campo e ela cai pouco a frente da linha do gol. Como o gramado do estádio possuía 105 metros de comprimento, podemos estimar como sendo de 50 metros a distância percorrida pela bola ( $D$ ) desde o chute até o momento em que toca o chão pela primeira vez (já dentro do gol). Além disso, assistindo ao vídeo e utilizando um cronômetro, é possível estimar o tempo ( $t$ ) entre o chute e o primeiro toque da bola no chão como sendo de 3,3 segundos. Outro parâmetro que pode ser estimado a partir do vídeo é a altura ( $h$ ) acima do gramado na qual ocorre o chute – altura que estimo como sendo de 50 centímetros. Ressalto que, em sala de aula, esses valores poderiam ser estimados pelos próprios alunos.

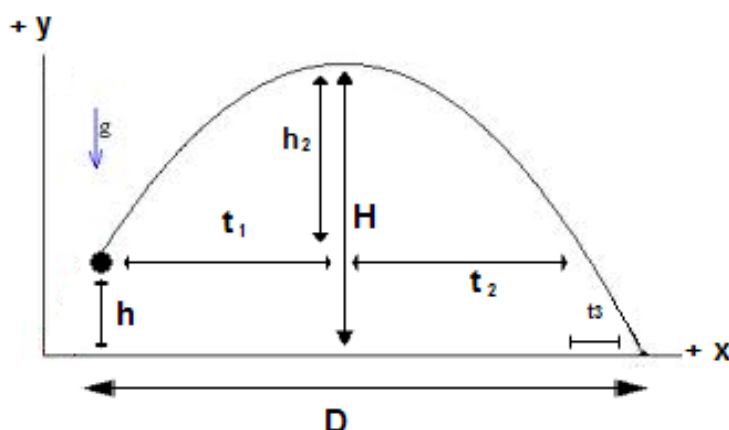


Figura 2 - Representação esquemática do chute

Em relação à Figura 2, devo ressaltar que  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$  dizem respeito aos tempos associados a cada parte da trajetória representada. Além disso, o tempo total ( $t$ ) é a soma dos tempos  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$ .

Analisarei a jogada com o intuito de estimar qual a velocidade inicial da bola ( $V_0$ ) e qual a altura máxima em relação ao solo ( $H$ ) atingida por ela durante a trajetória. Para

<sup>9</sup> <<http://www.youtube.com/watch?v=Hdpawy4jvpw>> (Acesso em: 07 mar. 2013).

<sup>10</sup> <<http://www.youtube.com/watch?v=a10vbwdBs-A>> (Acesso em: 08 nov. 2013).

<sup>11</sup> <<http://www.youtube.com/watch?v=CsX1v20pCrc>> (Acesso em: 08 nov. 2013).

<sup>12</sup> <<http://www.youtube.com/watch?v=a6xA7mSQD7A>> (Acesso em: 08 nov. 2013) – Para ver o gol do meio-campo assista o vídeo a partir do tempo 1min:20s.

<sup>13</sup> <[www.youtube.com/watch?v=XuXtUwiTY3g](http://www.youtube.com/watch?v=XuXtUwiTY3g)> (Acesso em: 01 ago. 2014)



isso, adoto o tratamento usual dispensado a problemas desse gênero: decomponto o movimento em duas dimensões (horizontal e vertical) e os analiso separadamente.

Na horizontal (eixo x), desprezando a resistência do ar, o movimento da bola é caracterizado como um movimento retilíneo uniforme. Já na vertical (eixo y), o movimento é caracterizado como um movimento retilíneo uniformemente variado (devido à ação da força gravitacional).

Analisando o problema, podemos escrever as seguintes equações:

$$V_{0x} = V_x = D / t \text{ (Equação 1)}$$

$$V_y = V_{0y} + g.t \text{ (Equação 2)}$$

$$y = y_0 + V_{0y}.t + g.t^2 / 2 \text{ (Equação 3)}$$

Onde os índices "0" indicam os valores iniciais das grandezas, g representa o módulo da aceleração da gravidade no local (considerado aqui como sendo de  $10 \text{ m/s}^2$ ) e y a posição da bola na direção vertical.

Na altura máxima (H) a velocidade vertical da bola ( $V_y$ ) é nula. Dessa forma, a Equação 2 nos dá:  $V_{0y} = -g.t_1$ , onde o sinal negativo indica que a aceleração da gravidade é contrária ao sentido positivo do eixo y. Sabemos ainda que  $t = t_1 + t_2 + t_3$  e que  $t_1 = t_2$ , logo,  $t = 2.t_1 + t_3$ . Torna-se possível, então, determinar  $V_{0y}$  e os tempos  $t_1$  e  $t_3$  a partir do seguinte sistema de três equações e três incógnitas, onde a Equação 4 provém da Equação 2, a Equação 6 provém da Equação 3 e a Equação 5 provém da equação de tempos supracitada:

$$V_{0y} = 10.t_1 \text{ (Equação 4)}$$

$$3,3 = 2.t_1 + t_3 \text{ (Equação 5)}$$

$$0,5 = 5.t_3^2 + V_{0y}.t_3 \text{ (Equação 6)}$$

Resolvendo o sistema, encontramos:  $t_3 = 0,030 \text{ s}$ ;  $t_1 = 1,635 \text{ s}$  e  $V_{0y} = 16,35 \text{ m/s}$ .

Já a Equação 1 nos fornece a velocidade horizontal da bola:  $V_{0x} = V_x = D / t = 50 / 3,3 = 15,15 \text{ m/s}$ .

Tendo esses valores, é possível calcular a velocidade inicial com que a bola sai dos pés do jogador a partir da composição das velocidades horizontal e vertical. Utilizando para isso o teorema de Pitágoras:

$$V_0^2 = V_{0x}^2 + V_{0y}^2; \text{ temos portanto: } V_0 = 22,29 \text{ m/s} = 80,24 \text{ km/h.}$$

Substituindo os valores encontrados na Equação 3 é possível determinar a altura  $h_2$  e conseqüentemente a altura máxima atingida pela bola (H):

$$H = h + h_2 = 0,5 + 13,37 = 13,87 \text{ m.}$$

Por fim, ressalto que o tratamento utilizado para analisar essa jogada costuma ser abordado nas aulas de física do Ensino Médio. Dessa forma, analisar um exemplo real do futebol pode dar aos estudantes maior sentido aos cálculos costumeiramente realizados. Além disso, outros tratamentos podem ser dados à jogada, tais como, calcular a força exercida na bola pelo pé do jogador, analisar qual deveria ser a velocidade de um jogador adversário para chegar a tempo de evitar o gol, etc.

### III) Cruzou a linha?

Nesta seção, atentando para a presença da tecnologia nos esportes – como evidenciada por James (2008) -, apresento brevemente como funciona a nova tecnologia que identifica se a bola cruzou totalmente ou não a linha do gol numa partida de futebol<sup>14</sup>.

Segundo a FIFA (Fédération Internationale de Football Association), entidade máxima do futebol profissional em termos globais, o apelo ao uso da tecnologia como forma de auxiliar os árbitros a tomarem as decisões corretas tem crescido nos últimos anos. Dessa forma, a entidade adotou em algumas competições como a Copa das Confederações – Brasil 2013 – e a Copa do Mundo – Brasil 2014 - um sistema que avisa ao árbitro se a bola ultrapassou ou não a linha do gol.

Há duas tecnologias que podem desempenhar essa função, ambas desenvolvidas pelo Fraunhofer Institute for Integrated Circuits IIS (Alemanha). Uma denominada de “Hawk-Eye” (“olho de falcão”), diz respeito ao uso de câmeras super rápidas; e a outra, denominada “GoalRef”, será apresentada aqui em maiores detalhes devido a seu funcionamento estar relacionado a diversos conceitos físicos<sup>15</sup>.

Em linhas gerais, o sistema funciona da seguinte maneira: um campo magnético de baixa frequência (o chamaremos de  $B_1$ ) é criado na região do gol (região pintada de amarelo na Figura 3), outro campo magnético (o chamaremos de  $B_2$ ) é criado dentro e ao redor da bola de futebol e bobinas são colocadas junto ao gol a fim de identificar variações do campo magnético  $B_1$ . Quando o campo magnético da bola interage com o campo magnético do gol (chamado também de campo magnético principal), isto é, quando a bola está próxima ou dentro do gol, ocorrem alterações nos valores e nos padrões das linhas do campo magnético principal. Conseqüentemente, como haverá variação do fluxo magnético, uma corrente elétrica será induzida (Lei de Faraday) e percorrerá as bobinas colocadas junto ao gol. O sistema é calibrado para enviar ao árbitro uma mensagem de que a bola cruzou completamente a linha do gol caso o valor dessa corrente elétrica induzida supere determinado valor mínimo. Essa análise é processada por programas de computador desenvolvidos pela própria empresa que fabrica o sistema, a qual frisa também que a mensagem é criptografada (evitando fraudes) e enviada ao árbitro em questão de instantes. Durante a última Copa do Mundo (Brasil-2014), não foram raros os lances em que o sistema ganhou destaque nas transmissões televisivas

---

<sup>14</sup> No futebol é imprescindível determinar se a bola cruzou ou não totalmente a linha do gol, pois é o cruzamento dessa linha que define se o gol deve ou não ser registrado, isto é, se ele de fato ocorreu ou não.

<sup>15</sup> A discussão realizada está baseada nas informações apresentadas pelo fabricante em seu site: <<http://www.iis.fraunhofer.de/en/bf/ln/referenzprojekte/goalref.html#!tabpanel-2>> (Acesso em: 24 set. 2013).

quando da ocorrência de jogadas em que era difícil julgar se a bola havia ou não cruzado completamente a linha do gol.



Figura 3 - Representação da região onde é criado um campo magnético

A breve caracterização do sistema acima realizada evidencia as muitas possibilidades didáticas envolvidas. Entre elas: a discussão de como é possível gerar campos magnéticos (ímãs, eletroímãs, Lei de Ampère, etc.); de como é possível gerar uma força eletromotriz e, conseqüentemente, uma corrente elétrica a partir da variação do fluxo de campo magnético (Lei de Faraday, Lei de Lenz, etc.); de como um campo magnético interage com outro campo magnético – o que, inclusive, abre também a possibilidade de discutir aspectos associados a exames médicos como o de ressonância magnética.

### **Considerações Finais**

Enquanto alternativa aos conceitos de “motivação” e “interesse”, Charlot (2000) preferiu utilizar a ideia de “mobilização”. Segundo o autor, se por um lado as razões que produzem a mobilização, isto é, os móbiles da mobilização, são externos ao sujeito, por outro lado, a mobilização implica em pôr-se em movimento a partir “de dentro”.

Nesse sentido, tendo em vista o fato de que uma das maiores queixas dos professores de física é a falta de participação de seus alunos, justifica-se a relevância de estudos que procuram sugerir maneiras de tentar amenizar ou até mesmo reverter esse quadro. Em outras palavras: estudos, como este, que procuram investigar possíveis móbiles da mobilização pelo estudo da física.

Acredito que atividades que procuram relacionar a física ao futebol, explicitando de que maneira conhecimentos dessa disciplina podem auxiliar no entendimento de situações que permeiam a prática desse esporte, possam propiciar um maior envolvimento dos estudantes nas discussões efetuadas em sala de aula, agindo, conseqüentemente, como móbile da mobilização pelo estudo da física e contextualizando culturalmente o ensino dos conteúdos formais dessa disciplina, especialmente aqueles que dizem respeito à cinemática. Vale frisar, ainda, que as situações ocorridas durante as

partidas de futebol podem ser ilustradas por meio da utilização de vídeos disponíveis gratuitamente na *internet*.

## Referências

AGUIAR, C. E.; RUBINI, G. A aerodinâmica da bola de futebol. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 4, p. 297-306, 2004. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/040701.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

CHARLOT, B. **Da relação com o saber**: elementos para uma teoria. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

DAYRELL, J. A escola como espaço sócio-cultural. *In*: Dayrell, J. (org.) **Múltiplos olhares sobre educação e cultura**. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

DELFIN, T. F.; JESUS, V. L. B. O problema da simultaneidade na lei do impedimento do futebol. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 4, p. 1-5, 2011. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/334308.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

DIAS, A. C. G.; BARLETTE, V. E.; MARTINS, C. A. G. A opinião de alunos sobre as aulas de eletricidade: uma reflexão sobre fatores intervenientes na aprendizagem. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 1, p. 107-117, 2009. Disponível em: <[http://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo\\_ID76/v4\\_n1\\_a2009.pdf](http://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID76/v4_n1_a2009.pdf)>. Acesso em: 01 mar. 2013.

FOUREZ, G. Crise no ensino de ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo\\_ID99/v8\\_n2\\_a2003.pdf](http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID99/v8_n2_a2003.pdf)>. Acesso em: 01 mar. 2013.

GOMES, M. A. F.; PARTELI, E. J. R. A Física nos Esportes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, p. 10-18, 2001. Disponível em: <[http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v23\\_10.pdf](http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v23_10.pdf)>. Acesso em: 01 mar. 2013.

HENNEKAM, W. The speed of a cyclist. **Physics Education**, v. 25, n. 3, p. 141-146, 1990. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/0031-9120/25/3/001>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

HENNEKAM, W.; GOVERS, M. The freewheeling cyclist. **Physics Education**, v. 31, n. 5, p. 320-328, 1996. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/0031-9120/31/5/023>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

IRESON, G. Beckham as physicist? **Physics Education**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 2001. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/0031-9120/36/1/301>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

JAMES, D. The physics of winning - engineering the world of sport. **Physics Education**, v. 43, n. 5, p. 500-505, 2008. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/0031-9120/43/5/006>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

JÚDICE, R.; VELOSO JÚNIOR, V. C. Rapel e Física – Uma dupla premiada. **A física na escola**, v. 3, n. 1, p. 5-7, 2002. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol3/Num1/a03.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

MACHADO, L. P. S.; POTIGUAR, F. Q. Colisão inelástica com rotação relativa de um objeto de simetria esférica em um plano. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 700-714, 2011. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n3p700>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

MEDEIROS, A. A física nas transmissões esportivas: uma mecânica de equívocos. **A física na escola**, v. 5, n. 1, p. 7-14, 2004. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num1/v5n1a03.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

PARKER, K. Use of force platforms in physics and sport. **Physics Education**, v. 36, n. 1, p. 18-22, 2001. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/0031-9120/36/1/30>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

RICARDO, E. C.; CUSTÓDIO, J. F.; REZENDE JUNIOR, M. F. A tecnologia como referência dos saberes escolares: perspectivas teóricas e concepções dos professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 135-147, 2007. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/060701.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

SANTIAGO, R. B.; MARTINS, J. C. A interpretação física de um golpe do karatê: o Gyaku-zuki. **A física na escola**, v. 10, n. 2, p. 19-21, 2009. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol10/Num2/a06.pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

SPATHOPOULOS, V. C. A physics heptathlon: simple models of seven sporting events. **Physics Education**, v. 45, n. 6, p. 594-601, 2010. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/0031-9120/45/6/003>>. Acesso em: 01 mar. 2013.

ZANETIC, J. **Física também é cultura**. Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, São Paulo, SP. 1989.

**Submissão: 24/09/2013**  
**Aceite: 22/07/2014**