

## A PERFEITA SIMBIOSE ENTRE A FÍSICA E A PROVA DE CORRIDA DE CURTA DISTÂNCIA

*The perfect symbiosis between physics and short distance running*

**Rosana Bulos Santiago** [rosanabulos@gmail.com]

*Instituto de Física, Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Rua São Francisco Xavier 524, 3º andar, Maracanã, RJ, Brasil*

*Recebido em: 03/11/2021*

*Aceito em: 05/04/2022*

### Resumo

Neste trabalho apresentamos uma sequência de ensino investigativa (SEI) desenvolvida sob a metodologia de Ensino por Investigação (EI) e norteada pelos princípios da Aprendizagem Significativa de Ausubel. A proposta interdisciplinar entre a Física e o Atletismo permitiu apresentar um pouco da História das provas de corrida, suas regras e equipamentos, para ensinar a diferença entre velocidades média e instantânea, desenvolver habilidades experimentais, construção e interpretação de gráficos a partir de um acontecimento real. A SEI conta com três experimentos simples com medidas e análise de dados. O último experimento é uma corrida com os próprios alunos, que possibilita o ensino e a aprendizagem das grandezas físicas acima mencionadas. Integra a SEI os modelos físicos de Keller (1973) e de Tibshirani (1997), que previram o desempenho de um atleta vencedor durante uma prova de corrida, que foram apresentados e aplicados aos records do lendário Usain Bolt. A SEI foi aplicada presencialmente a turma de Licenciatura em Ciências Biológicas da UERJ, cujos resultados de aprendizagem foram analisados qualitativamente através das respostas das questões sobre os experimentos.

**Palavras-chave:** Física dos Esportes; Interdisciplinaridade; Metodologia Ativa.

### Abstract

In this work we present an investigative teaching sequence (SEI) developed under the Teaching by Inquiry (EI) methodology and guided by the principles of Meaningful Learning by Ausubel. The interdisciplinary proposal between Physics and Athletics allowed us to present a bit of the history of running events, their rules and equipment, to teach the difference between average and instantaneous speed, to develop experimental skills, making and interpreting graphs from a real event. The physical models of Keller (1973) and Tibshirani (1997), which predicted the behavior of an athlete during a running event, were applied to the records of the legendary runner Usain Bolt. SEI has three simple experiments with measurements and data analysis. The last experiment is a race with the students themselves, which enables the teaching and learning of the aforementioned physical quantities, as well as the construction and analysis of the graph of velocity as a function of the winner's time. We applied this SEI in person to the Undergraduate Course in Biological Sciences at UERJ, whose learning results were analyzed qualitatively through the answers to the questions about the experiments.

**Keywords:** Sports Physics; Interdisciplinarity; Active Methodology.

## I. Introdução

A disciplina Física nem sempre desperta o interesse necessário para a aprendizagem significativa (Moreira, 2011). Fruto, em parte, da dificuldade de contextualizar os conteúdos específicos na vivência cotidiana e excessiva ênfase no ensino teórico, carecendo de metodologias ativas com experimentos investigativos. Adicionalmente, os alunos que iniciam o ensino médio trazem carências de conhecimentos básicos de disciplinas que servem de alicerces ao que se pretende ensinar na disciplina de Física. Dificuldade de interpretação de textos, lacunas nos conteúdos básicos de matemática e química são alguns exemplos que prejudicam a construção de conhecimento nesta nova etapa.

A Lei de Diretrizes e Bases de 1996, LDB-96 (Brasil, Lei 9.394/96), conclama que os assuntos a serem abordados no ensino médio devam contribuir para desenvolver as competências e habilidades da cidadania dos estudantes, estimulando-os para a continuidade do aprendizado e para o futuro no trabalho (Menezes, 2000). Na medida em que o conteúdo é contextualizado na vivência humana, política e cultural, naturalmente surgem aspectos interdisciplinares ligados ao tema a ser abordado.

É bastante pertinente trazer situações reais para sala de aula, e a partir destas, contextualizar os fenômenos físicos ali presentes. Esta maneira de apresentar o conteúdo específico desperta a motivação dos aprendizes. Isso porque as situações reais são interdisciplinares e próximas da vivência do dia a dia. O ensino de conteúdos de Física aplicados ao esporte satisfaz este aspecto (Rocha et al., 2021). Além disso, as atividades motoras melhoram a saúde física e mental. Sendo também um excelente meio para potencializar a interação social, desenvolvimento de empatia, capacidade de superação de obstáculos e melhoria na auto imagem. A escola é um ambiente propício e fundamental para promoção e cultivo destes aspectos. Para que os estudantes construam seus aprendizados na ciência Física é necessário elaborar atividades inovadoras, para além das aulas teóricas, por exemplo, aulas no pátio da escola com atividades cinestésicas e práticas esportivas em colaboração com o professor de Educação Física, aulas experimentais com uso de aplicativos, vídeos, entre outras.

O físico inglês Snow (1995) aponta desde os idos anos 1950, que a dificuldade de se avançar com soluções desejáveis em determinadas situações enfrentadas por uma sociedade se deve a falta de diálogo entre profissionais de distintas áreas do saber, e isso ocorre em consequência de um excesso de especialização na escolarização adotada. Nesse sentido, o ensino-aprendizagem requer a introdução de temas que apresentem aspectos interdisciplinares e seja contextualizado em situações reais como eixo norteador do currículo, como apontam os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) (Kawamura & Hosoume, 2003).

Pouco se fala e se conhece, a nível de ensino formal ou informal, dos fenômenos e das propriedades físicas e químicas envolvidas no universo esportivo. A Física dos Esportes (Santiago & Martins, 2009) é uma temática que permite um diálogo interdisciplinar não somente entre estes dois campos do saber, mas também com a Química, Biologia, História, Geografia, entre outras; o que facilita a promoção de projetos transdisciplinares na escola básica. Assim, através de atividades esportivas - corrida, natação, futebol, karatê, entre outras - é possível observar os fenômenos e construir conceitos científicos importantes da vida.

Quem é o homem mais rápido do mundo? Esta pergunta tem sido objeto de curiosidade de muitos pesquisadores de diversas áreas de formação, principalmente, após os extraordinários resultados do atleta jamaicano Usain Bolt nas duas primeiras décadas do século XXI. Nos idos anos setenta (século XX) o físico Joseph Keller se perguntou: qual é a melhor estratégia que um corredor deve adotar para vencer provas de corrida de curta distância? Assim, em 1973, ele propôs

um modelo teórico que descrevia o comportamento do atleta (Keller, 1973) ao longo da trajetória, que posteriormente, veio a concordar com o desempenho do mega campeão Bolt.

Encantados por tais fatos, escolhemos as provas de corrida de curta distância para abordarmos no ensino formal alguns aspectos físicos dentro de um contexto interdisciplinar. Desejamos que os estudantes construam conhecimento da ciência Física e da modalidade de corrida do Atletismo, assim como, adquiram gosto pela prática e ludicidade do esporte em questão. Posto isso, elaboramos uma sequência de ensino investigativa (SEI) com atividades práticas que podem ser desenvolvidas junto aos estudantes do nono ano do fundamental, ensino médio, ou mesmo com as turmas de licenciaturas em Física ou de Ciências. Esta SEI fora inspirada pela teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (Moreira, 2011) e baseada na metodologia do Ensino por Investigação (Carvalho, 2013). Neste trabalho, os objetivos do ensino e da aprendizagem dos conteúdos programáticos da ciência Física são: diferenciar velocidade instantânea da velocidade média, confecção manual e interpretação de gráfico, desenvolvimento das habilidades e competências das atividades experimentais, assim como, conhecer os modelos físicos de Keller (1973, 1974) e Tibshirani (1997) para corrida. Em cursos anteriores de disciplinas básicas das carreiras de Ciências Exatas e da Terra, verificamos que os alunos normalmente têm muita dificuldade em ler e interpretar gráficos, por isso, há a necessidade de trazer o aprendizado da feitura desde a elaboração da escala apropriada, inserção de pontos e todos os detalhes para melhor compreensão da curva de dependência.

Na primeira parte da SEI são apresentados: a história, as regras e o atleta de maior destaque da corrida de curta distância do Atletismo. Em seguida, são descritos os modelos físicos de Keller (1973, 1974) e de Tibshirani (1997) para corridas curtas; para então serem aplicados especificamente aos recordes do lendário corredor Usain Bolt nas provas de 100m. A partir daí, os estudantes são convidados a elaborar<sup>1</sup> e participar de uma corrida na área livre da escola, registrando os tempos intermediários e final de cada aluno-corredor. Posteriormente, os alunos analisam os registros e confeccionam manualmente o gráfico da velocidade em função do tempo do aluno-campeão, para então, compará-lo com a curva do atleta profissional obtida via modelo teórico. Neste item final, desejamos que os estudantes formulem argumentos dos motivos das prováveis diferenças encontradas entre os comportamentos destas curvas.

Outra vantagem desta atividade é que supera a necessidade do colégio dispor de equipamentos complexos para práticas experimentais da disciplina de Física, porque é auxiliada apenas pelo cronômetro do celular e pela fita métrica para medidas de espaço. Permite, também, o aprendizado dos sub-múltiplos do segundo<sup>2</sup>, avaliação dos erros experimentais, incertezas da medida e construção manual de gráfico. E acima de tudo, a direta interpretação de grandezas físicas extraídas de um acontecimento real, vivenciado pelos estudantes, estimulando assim, a motivação para construção da aprendizagem.

## II. Provas de corrida de curta distância

A corrida é uma das modalidades esportivas disputada desde a primeira Olimpíada na Grécia Antiga, data mais ou menos 700 anos A.C., cujo objetivo do atleta é completar o percurso antes dos demais competidores. Desde aquele tempo, os corredores já percebiam que minimizar os efeitos da força de arrasto, devido a resistência do ar, os ajudariam a melhorar seus desempenhos nas provas; por conta disso, se despiam e disputavam as provas nus (Ginciene & Matthiesen, 2012). Todavia, as roupas eram de tecidos pesados de algodão, bem diferente dos trajes atuais que são

<sup>1</sup> Eles devem produzir a pista fazendo a medição, marcas no chão e coleta de dados dos intervalos de tempos.

<sup>2</sup> Através de pesquisa de conhecimentos prévios, identificamos que a grande maioria dos estudantes do ensino básico não sabia que os sub-múltiplos do segundo se dá na base 10.

leves e colados a pele; o que facilita a diminuição da força de arrasto, já que esta é proporcional a área frontal do corpo do atleta.

Posteriormente, os corredores usaram intuitivamente a lei de ação e reação de Newton a fim de conseguir uma largada mais rápida. Fizeram pequenos buracos na pista de corrida, nos quais embutiam as pontas dos pés, para então servir de apoio e empurrar a parede do buraco. Tal mecanismo propiciava o corpo sair da inércia mais rapidamente. A partir daí, surgiu o "bloco de partida", equipamento que substituiu os buracos e foi sendo aprimorado com o passar do tempo. Hoje, o bloco de partida conta com um mecanismo capaz de se adaptar ao tamanho dos pés e pernas dos diferentes corredores (Ginciene & Matthiesen, 2012), entre outros fatores. Com a evolução tecnológica, novos trajes, equipamentos de aferição de tempo e de aquisição de imagens foram sendo agregados aos campeonatos profissionais (Santiago, 2016). Atualmente, os diferentes tipos de provas de corrida constituem uma das modalidades esportivas do Atletismo.

Existem vários tipos de corrida (Vieira & Freitas, 2007) - curtas, longas e com barreiras - que são disputas por ambos os sexos individualmente ou por revezamento dos membros da mesma equipe. Nas Olimpíadas de verão, as corridas classificadas como de curta distância têm percursos de: 100m, 200m e 400m; enquanto que as de longa distância são as de: 5.000m, 10.000m, maratona, etc. As provas curtas são conhecidas como "provas de velocidade". Esse nome sugestivo vem do fato de que nestas provas os atletas conseguem atingir velocidades instantâneas e médias bem altas quando comparadas com as longas. Independente do sexo do atleta<sup>3</sup>, percebeu-se um padrão no comportamento da curva<sup>4</sup> de velocidade média em função da distância total da prova, ou seja, quanto mais longo o percurso da corrida, menor será a velocidade média do atleta na prova, refletindo assim, o natural cansaço do indivíduo.

### III. Modelos de Keller e Tibshirani aplicados aos resultados de Usain Bolt

O brilhante físico e matemático, Joseph Keller (1923-2016), em 1973 propôs um modelo que determina a melhor estratégia que um corredor deveria adotar durante uma corrida de curta distância a fim de vencer a prova. Foram necessários aguardar 36 anos para que na prática o desempenho de um atleta fosse muito próximo ao que o modelo teórico de Keller propunha.

Em 2009, ao disputar o Mundial de Atletismo em Berlim, o lendário atleta Usain Bolt quebrou os recordes de 100m e 200m rasos, em exíguos 9,58s e 19,19s, respectivamente. Pesquisadores (Helene & Yamashita, 2010) calcularam que a potência máxima dele ocorreu a menos de 2s do início dos 100m, quando estava apenas com metade de sua velocidade máxima. Nunca antes na história das corridas existiu um atleta tão vencedor quanto este jamaicano! Tornou-se consecutivamente tricampeão olímpico nos 100m e 200m rasos, bicampeão olímpico no revezamento 4x100m, e uma dezena de vezes campeão mundial nestas provas, entre outros títulos. Bolt parou de competir no ano de 2017 aos trinta anos, desde então, nenhum atleta quebrou seus recordes mundiais ou olímpicos. Nas últimas Olimpíadas em Tóquio, em 2021, os tempos dos primeiros colocados nas provas de 100m e 200m foram de apenas 9,80s e 19,62s ficando muito aquém das marcas alcançadas por Bolt.

O modelo de Keller (1973,1974) é baseado na segunda Lei de Newton, nele, não há qualquer referência explícita aos aspectos cinestésicos - frequência das passadas ou do movimento vertical do centro de massa do corpo (Helene & Yamashita, 2005) - nem tão pouco anatômicos como: a altura do atleta ou o tamanho de suas pernas. Simplesmente, é considerado que para o

<sup>3</sup>As mulheres foram admitidas nas provas do atletismo olímpico somente em 1928.

<sup>4</sup> Até 2009 a velocidade média dos 200m rasos masculino foi maior do que a dos 100m, diferentemente da classe feminina. Mas, no campeonato mundial de Berlim deste mesmo ano, o jamaicano Bolt quebrou o recorde dos 100m com o exíguo tempo de 9,58s, o que fez a velocidade média desta prova aumentar.

atleta se deslocar ao longo da pista, parte do seu "vigor físico" deve ser usado para superar a força de arrasto ( $F_a$ ) imposta pela resistência do ar. Nesta proposta, o sentido de  $F_a$  se opõe ao deslocamento do atleta, e é tomada como linear com relação a velocidade ( $v$ ) do atleta. Assim,  $F_a = -\alpha v$ , onde  $\alpha$  é a constante associada as grandezas do meio, densidade e viscosidade, e a área frontal do corpo do atleta. Neste modelo teórico, o "vigor físico" do atleta é entendido como a força propulsiva, estando associada a diversos fatores biológicos do corpo humano. Tais considerações resultam numa equação diferencial de primeira ordem para velocidade em função do tempo, cuja solução é escrita como:  $v(t) = v_{m\acute{a}x} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ , onde  $v_{m\acute{a}x}$  é a velocidade máxima que o corredor pode atingir, e o parâmetro  $\tau$  é uma constante, chamada por Keller de coeficiente de amortecimento.

Entretanto, a exigência imposta pela estratégia de Keller é aparentemente sobre humana, porque demanda que o atleta permaneça com a velocidade máxima durante grande parte do percurso. Numa análise simplificada do resultado deste modelo, o perfil da curva de velocidade instantânea do atleta em função do tempo da prova, pode ser dividida em duas partes: o atleta desenvolve o movimento uniformemente acelerado nos primeiros segundos da corrida até atingir a velocidade máxima; a partir daí, o movimento passa a ser retilíneo uniforme até completar o percurso. No entanto, para a grande maioria dos atletas em situações reais, observa-se declínio apreciável da velocidade nos segundos finais da corrida em decorrência do cansaço, mesmo para provas de 100m.

Em vista de descrever o que realmente acontece nas provas de corrida, Tibshirani (1997) fez um pequeno ajuste no modelo original de Keller, introduzindo um termo de decaimento temporal na força propulsiva do atleta,  $f(t) = F + ct$ ; tal que, o valor máximo  $F$  ocorre no instante inicial da prova, diminuindo linearmente com o tempo;  $c$  é um parâmetro ajustável do modelo e tem dimensão de força por unidade de tempo.

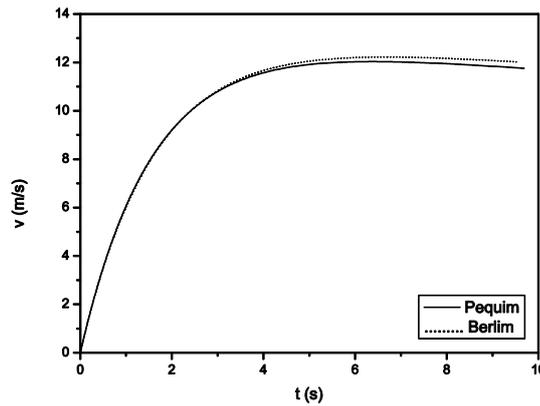
Em todas as provas que Bolt participou e foi campeão, ele usou a mesma estratégia: atingiu a velocidade máxima no primeiro terço de tempo da prova e praticamente a manteve constante (pequeníssima redução) até o final da corrida. Dessa forma, ele comprovou "experimentalmente" o modelo de Keller-Tibshirani<sup>5</sup>, por assim dizer.

O gráfico 1 mostra os perfis de velocidade<sup>6</sup> para os resultados de Bolt na prova de 100m, na Olimpíada de Pequim em 2008 (marca de 9,69s) e no Mundial de Berlim em 2009 (marca de 9,58s) utilizando o modelo teórico de Keller-Tibshirani. Para produzir o gráfico 1 usamos os dados reais dos intervalos de tempo destas duas provas que foram disponibilizados pelo site do Associação Internacional das Federações de Atletismo (IAAF)<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> A partir daqui irei me referir como um único modelo já que Keller foi o mentor da proposta original e Tibshirani contribuiu com um pequeno ajuste no modelo para aplicar a realidade vigente.

<sup>6</sup> O gráfico apresentado está em concordância com o apresentado por O. Helene e Yamashita (2010) para os resultados do Bolt em Pequim 2008 e Berlim em 2009. Lá encontra-se uma tabela com os dados dessas curvas.

<sup>7</sup> Nas provas de curta distância os intervalos de tempo são registrados de 10m em 10m através de sensores posicionados ao longo da pista.



**Gráfico 1:** Velocidade em função do tempo nas provas de Pequim e Berlim utilizando o modelo de Keller-Tibshirani. Fonte: o autor. As velocidades máximas em: Pequim 12,49m/s e em Berlim 12,43m/s .

Observe que, nos instantes finais de ambas as provas, Bolt teve uma pequeníssima redução de velocidade (um pouco mais em Pequim) se comparadas as velocidades máximas atingidas por volta dos 4s.

Além de superar a força de arrasto, muitas vezes o corredor também tem que lidar com o vento durante a disputa, podendo piorar ou melhorar seu rendimento. Este fator externo é tão relevante que a IAAF não homologa recorde para velocidade de vento superior a 2m/s no mesmo sentido do deslocamento do corredor. Um desses exemplos foi o resultado de 9,69s obtido por Obadele Thompson em 1996 com vento a 5,7 m/s (Mureika, 1997), tempo igual ao recorde olímpico obtido por Usain Bolt em Pequim em 2008, sem vento. Na perspectiva de analisar e comparar as marcas dos atletas em diferentes momentos, Prichard (1993) contribuiu com um belo modelo teórico que renormaliza os tempos de qualquer prova sob qualquer velocidade de vento para a condição de vento nulo. Cientes da relevância da contribuição de fatores externos, como o caso do vento, deve-se ter cuidado na correta escolha da metodologia usada nas provas classificatórias para que nenhum atleta fique prejudicado (Santiago & Preussler, 2011).

#### IV. Sequência didática Investigativa (SEI)

A teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel (Moreira, 2011) destaca duas condições essenciais e iniciais para que a aprendizagem possa acontecer: os aprendizes precisam estar motivados pelo conteúdo a ser ensinado; e o professor antes de iniciar a prática de um novo conteúdo deve investigar os conhecimentos prévios dos seus estudantes sobre a temática que pretende ensinar. Para que a aprendizagem significativa aconteça é necessário a existência de subsunçores<sup>8</sup> para que o novo conhecimento tenha onde se ancorar. Conforme a teoria da aprendizagem significativa, "os significados são construídos cada vez que o aluno estabelece relações substantivas entre o que aprende e o que já conhece. Por isso, a maior ou menor riqueza na produção desses significados dependerá das relações que o aluno for capaz de estabelecer." (Zômpero & Laburú, 2010, p.13).

A metodologia de Ensino por Investigação (Carvalho, 2013) segue, em parte, os moldes operantes do fazer científico, os alunos são dispostos em grupos, são estimulados a investigarem a situação problema proposta levantando suas hipóteses e testando-as. O papel do professor é dar

<sup>8</sup> Subsunçor é o nome que se dá um conhecimento específico existente na estrutura cognitiva do indivíduo. É onde uma nova informação será ancorada, e por meios de interações, dará origem a um novo conhecimento.

orientações aos estudantes a fim de ajudar em suas reflexões na busca do sucesso da atividade. Abaixo, apresentamos o Quadro 1 com as etapas da SEI comentada.

Etapas da SEI	Discussão das etapas da metodologia
1- Investigação dos conhecimentos prévios (CP) dos aprendizes.	Esta pesquisa é feita de maneira informal, dentro de uma proposta de aproximação professor-aluno e aluno-aluno, o professor investiga os CP sobre o conteúdo didático em conversa com os estudantes. Em particular, sobre a diferença entre velocidade média e instantânea. Investiga também o quanto os alunos conhecem do esporte a ser abordado e se possuem hábito de alguma prática esportiva.
2- Apresentação do Atletismo/corridas e os recordes de UsainBolt	Na perspectiva de motivá-los para aprendizagem significativa do conteúdo didático, contextualiza-se o tema numa situação da vida real. Neste caso, as provas de corrida de curta distância; apresentam-se as regras do esporte e os recordes do atleta Usain Bolt. Deve-se usar imagens dos estádios com pistas de atletismo, dos instrumentos de medida de tempo ao longo do percurso, das vestimentas antigas e atuais, etc.; e principalmente, os vídeos das principais provas de corrida que o Bolt participou. Este material é encontrado facilmente na internet.
3- Apresentação dos Modelos de Keller e Tibshirani	De maneira simples, enfatizando os aspectos conceituais, os modelos físicos para corrida curta são apresentados e aplicados aos resultados do Bolt. Mostram-se os gráficos de velocidade instantânea em função do tempo das provas de Bolt em Pequim e Berlim. Enfatizam-se os perfis destas curvas.
4- Experiências:  4.1: Medida do intervalo de tempo  4.2: Medida do espaço  4.3: Corrida	A partir desta etapa prevalece a metodologia EI. Os alunos vão trabalhar em grupo e são estimulados a formular hipóteses a respeito da investigação. Nos experimentos 1 e 2 desenvolvem habilidades de medida de tempo e espaço. As análises dos dados coletados são feitas pelos alunos através das respostas dos questionários. Cada um responde individualmente, mas pode debater em grupo e solicitar o professor para tirar dúvidas. O experimento 3 estabelece um situação-problema mais complexa, na qual é possível observar além do aprendizado em Física o desenvolvimento de competências sócio-interativas. Nesta fase da SEI, o professor se coloca como mediador, a fim de ajudar os alunos no sucesso das atividades, deixando o protagonismo para os estudantes.
5- Discussão com toda turma: análise dos resultados	Neste momento os alunos confeccionam e apresentam seus gráficos. O professor se coloca como mediador das discussões, estimulando os alunos a verbalizarem como produziram os gráficos e quais dificuldades foram encontradas ao longo do processo. O professor deve auxiliar a narrativa do aluno em vista da ampliação do vocabulário científico e na apropriação dos conceitos físicos envolvidos. Deve também estimular o aluno a elaborar generalização do fenômeno e apresentar outros exemplos do cotidiano que contenham os mesmos princípios. Deve sempre fazer menção ao modelo de Keller-Tibshirani a fim de lembrar o

	perfil ideal da curva de um atleta profissional em busca da vitória; deve enfatizar quais são as grandezas físicas relevantes destes modelos.
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Quadro 1:** Etapas comentadas da SEI.

Do ponto de vista dos conteúdos específicos da disciplina de Física a SEI visa proporcionar que os estudantes aprendam a diferenciar a grandeza velocidade média da instantânea<sup>9</sup>. Assim como, conheçam os modelos de Keller e Tibishirani, aprendam a construir e interpretar gráficos, e desenvolvam habilidades experimentais. Para tal, propõe-se uma situação-problema que simule uma prova de corrida de curta distância no pátio da escola (ou em outro local amplo). Algumas perguntas naturalmente surgem: Qual é o aluno mais rápido? Quem tem a maior velocidade média? O aluno que teve a maior velocidade média foi o que venceu a prova ou foi aquele que teve a maior velocidade instantânea? A curva da velocidade instantânea em função do tempo do vencedor tem o mesmo perfil da curva do Bolt? Entre outras. Nesta atividade, os alunos devem correr; produzir a pista (medindo e marcando os intervalos de espaço no chão); e medir os intervalos de tempo com o cronômetro do celular.

As três primeiras etapas da SEI são inspiradas nos dois princípios fundamentais da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Estas etapas são apresentadas em sala de aula com recurso audiovisual. Quanto mais imagens e vídeos sobre as provas de corrida com o Bolt e suas curiosidades, mais interessante a proposta se tornará. A importância da Ciência na investigação das provas de corrida deve ser amplamente elucidada, assim, é interessante mostrar, em forma de slides, as páginas de abertura dos artigos originais dos modelos físicos de Keller e de Tibshirani, para então, discutir qualitativamente os modelos teóricos. Este é um momento que não deve ser ocultado, pois potencializa a confiança na Ciência pelos jovens alunos. Neste caso, os cientistas previram acertadamente o comportamento que o atleta deveria seguir ao longo da trajetória a fim de conquistar o primeiro lugar nas disputas que travou.

Antes de acontecer a prova de corrida com os alunos, normalmente, se faz necessário o ensino-aprendizagem de algumas habilidades experimentais, tais como: aprender a escolher o correto instrumento de medida de espaço (régua, trena, etc) de acordo com a dimensão do que se deseja medir; avaliar e somar as incertezas de medidas do instrumento com o registro correto dos algarismos significativos; alertar que os sub-múltiplos do segundo ocorrem na base 10; aprender a usar o cronômetro digital do celular, para então, diferenciar erro sistemático do erro grosseiro e o tempo de reação de cada indivíduo, entre outras coisas. Para dar conta destes tópicos optamos por construir o ensino através de dois experimentos simples que são desenvolvidos em grupo com material de fácil aquisição antes da corrida. A partir daqui, etapa 4, a metodologia do EI prevalece.

O primeiro experimento, "Medida do intervalo de tempo" (Quadro 2), tem por objetivo medir o intervalo de tempo entre dois sinais sonoros com o cronômetro do celular. Este experimento permite a análise de algarismos significativos uma vez que alguns cronômetros de celulares registram até centésimos de segundo enquanto outros vão até o milésimo de segundo. Também possibilita a compreensão do que vem a ser: erro grosseiro (p.ex.: através da leitura errada no visor); erro sistemático (p.ex.: falta de aferição do aparelho); assim como, o tempo de reação de cada indivíduo.

<sup>9</sup> Ao investigar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a diferença entre velocidade instantânea e velocidade média, diversas vezes, os estudantes dos cursos de ciências exatas me respondiam de maneira formal que "a velocidade instantânea é quando o limite do intervalo de tempo vai a zero", entretanto, a maioria deles não sabia dar exemplos numa situação real.

### Experimento 1: Medida do intervalo de tempo

**Material:** cronômetro digital do celular.

#### 1. Introdução

Uma (1) hora tem 60 minutos; um (1) minuto tem 60 segundos (s). O segundo é dividido na base 10: o segundo (s) pode ser dividido em 10, 100, ou 1000 partes, denominados de décimo, centésimo e milésimo de segundo, respectivamente.

#### 2. Procedimento

2.1 Meça os intervalos de tempo com o cronômetro entre duas palmas. Registre. Este procedimento se repetirá três vezes. A professora tomará como referência um conjunto de valores destes intervalos de tempo.

2.2 Coloque numa mesma tabela os valores dos seus três intervalos de tempos, os valores medidos pelo seu colega, e os valores definidos como de referência.

#### 3. Questões

3.1 Os valores dos intervalos de tempos obtidos pelo colega foram diferentes dos seus? Comparando com o valor definido como referência pela professora diga quais tipos de erros podem ter sido cometidos por você ou pelo colega? Por que?

3.2 Em quais Algarismos significativos foram observadas as diferenças? Exemplifique-os através dos resultados expostos na tabela.

3.3 Quais tipos de erros podem ter sido cometidos nas suas medidas quando comparados aos valores de referência? Exemplifique-os através dos resultados expostos na tabela.

3.4 É possível atribuir incerteza da medida com o seu cronômetro digital? Por que?

#### Quadro 2: Roteiro do experimento 1.

O segundo experimento, "Medida do espaço" (Quadro 3), tem por objetivo medir o perímetro de uma mesa retangular grande com régua e com trena. Esta atividade permite aprender a somar as incertezas das medidas dos instrumentos, o correto registro dos dados no que diz respeito aos Algarismos significativos; e a análise da confiabilidade da medida através do erro percentual (BARTHEM, 1993).

### Experimento 2: Medida do espaço

**Material:** régua e trena.

#### 1. Procedimento

1.1 Medir e registrar a largura e o comprimento da mesa com a régua. Incluir as incertezas das medidas.

1.2 Medir e registrar a largura e o comprimento da mesa com a trena. Incluir as incertezas das medidas.

#### 2. Questões

2.1 Com os dados acima, calcular o perímetro da mesa com a medida feita com a régua e depois com a trena. Coloque as incertezas das medidas.

2.2 Qual das duas medições é mais confiável: com a régua ou com a trena? Por que?

2.3 Discrimine quantos Algarismos significativos têm as medidas obtidas no item 2.1.

2.4 Supondo que a largura da mesa é  $l_{t\epsilon o} = \underline{\hspace{2cm}}$  e o comprimento é  $c_{t\epsilon o} = \underline{\hspace{2cm}}$ . Calcule o erro percentual<sup>10</sup> do perímetro medido com a régua e depois com a trena.

2.5 Qual dos erros percentuais foi maior? Justifique.

#### Quadro 3: Roteiro do experimento 2.

Estando os alunos preparados para a aquisição de dados das grandezas tempo e espaço, podem ir para o pátio da escola, onde serão convidados a disputarem uma prova de corrida, Quadro 4. Devem produzir uma pista, registrando com giz no chão marcas de 4m em 4m. Tamanhos

<sup>10</sup>Erro percentual é escrito como: o valor verdadeiro da grandeza menos o valor obtido via experimento, dividido pelo valor verdadeiro vezes 100. Quanto menor for o erro percentual, melhor foi a realização das medidas.

menores terão maiores chances de incorrer erros grosseiros quando os alunos forem medir os intervalos de tempo; por conta da velocidade do corredor. A escolha do tamanho total da trajetória não é fixa uma vez que cada local tem sua extensão máxima, mas não deve ser menor que 20m, caso contrário, o gráfico da velocidade não ficará apreciável porque terão poucos pontos. Cada aluno-atleta correrá sozinho, enquanto seus colegas - os cronometristas - ficarão posicionados ao longo da pista a cada 4m, a fim de registrar os intervalos de tempo intermediários. Ao sinal sonoro do professor, o atleta dará a largada, e neste mesmo instante todos os cronometristas acionam o cronômetro. No momento que o corredor passar pelo primeiro cronometrista, este deve desligar o seu cronômetro e reter este dado. Esta dinâmica deve seguir sucessivamente até o último cronometrista. Os registros de intervalos de tempos devem ser colocados numa tabela para posterior análise. A troca de função entre o aluno-corredor e o cronometrista é muito enriquecedora, assim, todos os alunos aprenderão a registrar os dados e terão outros aspectos a serem incluídos na discussão dos resultados, tal como: se o biotipo ou preparo físico do corredor influenciou no resultado da corrida, entre outros.

Ainda em grupo, no retorno a sala de aula, os estudantes são orientados como construir manualmente o gráfico da velocidade instantânea em função do tempo. Além da escolha da melhor escala, posicionamento dos pontos e unidades, vale lembrá-los que para obter os intervalos de tempo relativos a cada 4m, deve-se subtrair cada registro de tempo feito por um certo aluno, do valor de tempo do aluno antecessor, exceto para o primeiro cronometrista. Por fim, deseja-se que o perfil desta curva seja comparada com a curva do Bolt nas provas de Pequim ou Berlim. Certamente, não se espera que a velocidade média ou o perfil seja equivalente, no entanto, espera-se que surjam reflexões e hipóteses dos estudantes para justificativas plausíveis das diferenças a serem observadas. Neste processo é que ocorre o amadurecimento e a formação de novos conhecimentos ancorados pelos subsunçores<sup>11</sup> existentes nos discentes a partir do debate dos resultados da prática.

### Experiência 3: Prova de corrida

**Material:** cronômetro e fita métrica

#### 1.Procedimento

- 1.1 A turma deverá elaborar uma pista de corrida. Marcar no chão, com giz, as posições correspondentes a cada 4m. Tamanho total da pista: \_\_\_\_\_
- 1.2 Cada aluno-cronometrista deve se posicionar a cada 4m ao longo da pista, para medir o intervalo de tempo do corredor ao passar nesta marca. Registre o intervalo de tempo numa tabela.

#### 2.Análise dos dados

- 2.1 Calcule as velocidades instantâneas para cada intervalo de 4m.
- 2.2 Calcule a velocidade média em (m/s) da prova de cada aluno. Transforme para km/h.
- 2.3 Qual dos alunos teve a maior velocidade média? Qual dos alunos venceu a corrida?
- 2.4 Faça um gráfico no papel milimetrado da velocidade instantânea em função do tempo do aluno vencedor.
- 2.5 Faça uma análise comparativa do perfil da curva do item anterior com a curva do Bolt apresentada em aula teórica. O perfil da curva foi semelhante? Quais foram as diferenças? Quais as suas hipóteses para haver estas diferenças?

#### Quadro 4: Roteiro do experimento 3.

<sup>11</sup>Subsunçor é o nome que se dá um conhecimento específico existente na estrutura cognitiva do indivíduo. É onde uma nova informação será ancorada, e por meios de interações, dará origem a um novo conhecimento.

## V. Análise da aprendizagem.

Neste tópico vamos analisar os resultados da aprendizagem da turma de calouros de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto de Biologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Esta atividade foi desenvolvida presencialmente em 2019, no âmbito da disciplina de Física para Biologia que está alocada no primeiro semestre da grade curricular. Normalmente, esta turma de calouros é bastante heterogênea no que se refere a formação escolar pregressa; muitos alunos relatam que nunca tiveram aulas de laboratório de ciências exatas. Todavia, eles serão os futuros professores do nono ano nos colégios de ensino fundamental, justamente quando os conteúdos de Física básica iniciam, portanto, é de grande relevância a introdução de atividades experimentais nesta disciplina da licenciatura.

A SEI iniciou com a investigação dos conhecimentos prévios dos discentes de maneira informal, através do diálogo espontâneo do professor com seus alunos. A maioria dos estudantes não sabia que o segundo (s) pode ser dividido em 10, 100 ou 1000 partes, acreditava que seria em 60 partes, seguindo a regra de horas para minutos, e de minutos para segundos. Boa parte nunca tinha usado o cronômetro do celular e teve dificuldade de interpretar o valor apresentado no visor. Percebeu-se que os alunos estavam bem familiarizados com os instrumentos de medida do espaço, tais como: régua, trena e fita métrica. Não souberam distinguir a velocidade média da velocidade instantânea<sup>12</sup> em palavras ou através de exemplos práticos. Quando foram perguntados se praticavam algum esporte ou atividade física, surpreendentemente, a grande maioria respondeu negativamente! Situação que não acontecia há uns seis anos atrás, quando quase todos os jovens gostavam de praticar alguma atividade física nas horas de lazer.

Os três experimentos foram desenvolvidos e debatidos em grupo, mas as respostas das questões foram individuais; em vista de ampliarem seu repertório científico. O professor se colocou como mediador das discussões, tirou dúvidas e auxiliou no processo de medidas.

**O experimento 1**, Medida do intervalo de tempo (Quadro 2), a grande maioria dos estudantes conseguiu expressar em palavras a diferença entre erros grosseiros, erros sistemáticos e tempo de reação de cada indivíduo, *'Sim, porque temos tempo de reação diferentes'*, *'erros sistemáticos, imprecisão do instrumento utilizado...'*, que surgiram como respostas aos itens 3.1 e 3.3, respectivamente.

Ao serem perguntados em quais Algarismos significativos foram observadas as diferenças dos seus resultados quando comparados com os dos colegas (item 3.2), alguns poucos não se apropriaram da nomenclatura da ordem numérica, tal como: na casa decimal do segundo e/ou na casa centesimal do segundo, em vez disso, exemplificaram reproduzindo os dados numéricos que estavam expostos na tabela. Conteúdo, este, lembrado em aula teórica. Nem todos sabiam que através do cronômetro do celular não era possível atribuir incerteza da medida, somente se tivessem esta informação via manual ou nas instruções do aplicativo, atribuindo a incerteza do aparelho ao algarismo duvidoso do visor. Outro erro, bastante elementar, foi: ao registrar os valores na tabela, colocavam muitos zeros antes da vírgula, tal qual, apareciam no visor do cronômetro do celular.

**No experimento 2**, os erros mais comuns que surgiram, porém com baixa incidência, foram: dificuldade em definir a incerteza do instrumento; registrar corretamente o número de Algarismos significativos no valor absoluto da medida condizente com a ordem da incerteza da medida (itens 1.1 e 1.2); dificuldade em expressar a correta incerteza do perímetro devido a soma das incertezas (item 2.1). Embora, todos estes conteúdos tenham sido trabalhados e

<sup>12</sup> Quando esta SEI foi aplicada as turmas de licenciatura e bacharelado em Física, boa parte dos estudantes respondeu o conceito matemático da velocidade instantânea em relação a média, ou seja, "a velocidade instantânea é aquela quando o intervalo de tempo tende a zero". Eles não estavam errados, mas não souberam exemplificar esta diferença numa situação real.

exemplificados antes da aula experimental. Os alunos perceberam que a medida obtida com a trena é melhor do que com a régua porque incorre numa incerteza menor no perímetro, assim como no erro percentual. Assim, avaliamos que aprendizagem das habilidades básicas experimentais foram alcançadas por estes dois experimentos iniciais.

No **experimento 3**, os alunos produziram uma pista na calçada de uma rua dentro do campus universitário. O tamanho total da pista foi de 20m. Esta atividade foi lúdica e produtiva, sem dificuldades para posicionamentos e registros de dados. Os alunos foram participativos durante a dinâmica e saíram empolgados com a prática. A tabela 1 apresenta os valores de intervalos de tempo e velocidade instantânea do aluno-atleta vencedor da corrida. Observe que os intervalos de tempo apresentados não se referem apenas a cada 4m, e sim do início da pista até a posição na qual o cronometrista estava. Entretanto, para obter os valores das velocidades instantâneas foram subtraídos os registros de tempo do intervalo anterior, aspecto que alguns alunos se esqueceram de fazer ao calcular essa grandeza.

$s$ (m)	4	8	12	16	20
$t$ (s)	1,23	1,90	2,68	3,43	4,10
$v$ (m/s)	3,25	5,97	5,13	5,33	5,97

**Tabela 1:** posição  $s(m)$ , intervalo de tempo  $t(s)$  e velocidade instantânea  $v(m/s)$ .

Na feitura do gráfico, a maior dificuldade ficou por conta de saber onde registrar os valores no papel milimetrado, o ponto de cada par de ordenadas, se no início do intervalo, no meio ou no final, porque cada valor de velocidade instantânea está associado a um intervalo de tempo, embora muito pequeno. O que fez com que o professor fosse de bancada em bancada dando apoio pontual, indicando que a posição ideal para representação do ponto é no meio do intervalo de tempo.

Alguns alunos perceberam a ocorrência de um erro grosseiro no registro de um intervalo de tempo, incorrendo num valor altíssimo de velocidade instantânea (no segundo intervalo do gráfico). Logo, identificaram diferenças entre o comportamento das curvas (item 2.5): *'não foi semelhante por causa das velocidades instantâneas. O gráfico deveria ser uma curva crescente....provavelmente houve um erro grosseiro no tempo  $t_2$ '*. Entretanto, um único estudante, desprezou este ponto, e traçou uma "curva média" entre os pontos inseridos no gráfico, semelhante ao comportamento do atleta profissional. Nesta tentativa, observamos que este aluno acessou o conhecimento adquirido na aula teórica para tentar explicar o possível comportamento do aluno-corredor. Embora não tenha como garantir tal trajetória horária, sua hipótese foi rica em termos de conexão de aprendizagem. Outros aspectos também foram verbalizados na tentativa de justificar as diferenças: velocidade média muito mais baixa do que a do atleta, pista pequena em relação aos 100m rasos, etc.

A confrontação dos gráficos obtidos via o modelo teórico de Keller-Tibshirani aplicado as marcas do Bolt com o produzido a partir dos dados da corrida dos alunos, trouxeram a luz uma série de hipóteses sobre o comportamento ao longo da trajetória do aluno-corredor; e dos motivos pelos quais ele não conseguiu ter o mesmo perfil de curva do atleta. Tal análise, permitiu a clara noção do quão é difícil se apropriar da técnica necessária para atingir tal desempenho, mesmo que com velocidades inferiores a do atleta profissional.

## Conclusão

Neste trabalho, os objetivos do ensino e da aprendizagem dos conteúdos programáticos da ciência Física foram o de diferenciar velocidade instantânea da velocidade média numa situação real, construção manual e interpretação de gráfico, desenvolvimento das habilidades e competências das atividades experimentais, assim como, conhecer os modelos físicos de Keller e Tibshirani para

corrida de curta distância. A Física dos Esportes mostrou-se um tema interdisciplinar muito apropriado para o ensino de Física. Ao lançar luz sobre alguns aspectos científicos pouco conhecidos das provas de corrida, aliado aos surpreendentes desempenhos do Usain Bolt nos campeonatos, possibilitaram despertar interesse dos estudantes durante a aula teórica, e os motivaram a participar dos experimentos didáticos, o quê, segundo Ausubel, é fundamental para que aconteça a aprendizagem significativa.

A introdução deste conteúdo foi de fundamental importância para que os jovens entendam desde cedo como a Ciência trabalha; na previsão de fenômenos e eventos, por mais simples que seja a temática abordada, gerando assim, credibilidade nos seus resultados. Nesta simbiose entre a ciência Física e a prova de corrida, podemos afirmar que "Keller previu e Bolt provou", onde os experimentos para a teoria física proposta foram as corridas de 100m em Pequim-2008 e em Berlim-2009. Embora esta SEI tenha sido aplicada aos calouros de licenciatura em Ciências, esta pode ser devidamente aplicada aos estudantes do nono ano do ensino fundamental ou aos alunos do ensino médio, pois é nesta etapa de escolaridade que eles começam a conhecer os temas iniciais da mecânica newtoniana. Outro aspecto relevante, é que as atividades práticas são com instrumentos de fácil aquisição, permitindo desenvolver as habilidades experimentais sem prejuízo a formação inicial do estudante mesmo que a escola não disponha de laboratório ou equipamentos específicos.

### Referências bibliográficas

- Barthem, R. (1993). *Tratamento e Análise de dados em Física Experimental*, Rio de Janeiro: UFRJ.
- Carvalho, A. M. P. (2013). O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: Carvalho, A. M. P. (Ed.), (p.1-20). São Paulo: Cengage Learning.
- Ginciene, G., & Matthiesen, S. Q. (2012). O sistema de partida em corridas de velocidade do atletismo, *Motriz*, 18(1), 113-119.
- Helene, O., & Yamashita, M., T. (2005). A unified model for the long and high jump, *American Journal of Physics*, 73, 906–908.
- Helene, O., & Yamashita, M. T. (2010). The force, power, and energy of the 100 m sprint, *American Journal of Physics*, 78, 307-309.
- IAAF; Associação Internacional Federações de Atletismo. Acesso em 5 outubro de 2021. <https://www.worldathletics.org/>.
- Kawamura, M. R. D., & Hosoume, Y. (2003). A contribuição da Física para o novo ensino médio. *Físiciana Escola*, 4(2), 22-27.
- Keller, J. B. (1973). A theory of competitive running. *Physics Today*, 26(9), 42-47.
- Keller, J. B. (1974). Optimal velocity in a race. *Amer. Math. Monthly*, 81(5), 474-480.
- Moreira, M. A. (2011). Aprendizagem Significativa: um conceito subjacente. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 1(3), 25-46.
- Mureika, J. R. (2000). The Legality of Wind and Altitude Assisted Performances in the Sprints, *New Studies in Athletics*.
- Pritchard, W. G. (1993). Mathematical models of running, *SIAM Review*, 35(3), 359-379.

Rocha, J. N. & al. Cabral, E. , Massarani, L., Coelho, P., Dahmouche, M. (2021). Uma exposição sobre a física dos esportes pelo olhar de adolescentes: um estudo de caso no Museu Ciência e Vida. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 38(1), 216-241.

Santiago, R. B., & Martins, J. C. (2009). A interpretação física de um golpe do karatê. *Física na Escola*, 10(2), 19-21.

Santiago, R. B., & Preussler, O. N. (2011). *A influência do vento no desempenho dos atletas na prova de 100m rasos*, Anais do III Congresso Sudeste de Ciências do Esporte, 1, p.1-6.

Santiago, R. B. (2016). O photofinish na olimpíada do Rio. *Física dos Esportes*. Acesso em: 10 de abril de 2021. Disponível em: <<http://fisicadosesportes.blogspot.com/titulo/>>.

Snow, C. P. (1995). *As duas culturas e uma segunda leitura*. São Paulo: EdUSP.

Tibshirani, R. (1997). Who is the fastest man in the world? *American Statist.*, 51(2), 106-111.

Vieira, S., & Freitas, A. (2007). *O que é atletismo*, Rio de Janeiro: Casa da Palavra.

Zômpero, A. F., & Laburu, C. E. (2010). As atividades de investigação no ensino de ciências na perspectiva da teoria da aprendizagem significativa. *Revista Electrónica de investigación em educación em Ciências*, 5(2), 12-19.