



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM FÍSICA

CARLOS EDUARDO GAMA PRADO

**A CONTRIBUIÇÃO DA VIDEOANÁLISE EM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA
DETERMINAR OS EFEITOS DA RESISTÊNCIA DO AR SOBRE UM PARAQUEDAS**

FORTALEZA

2022

CARLOS EDUARDO GAMA PRADO

**A CONTRIBUIÇÃO DA VIDEOANÁLISE EM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA
DETERMINAR OS EFEITOS DA RESISTÊNCIA DO AR SOBRE UM PARAQUEDAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Licenciatura em Física do Centro de
Ciências da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do grau de
Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo
Silva

FORTALEZA

2022

CARLOS EDUARDO GAMA PRADO

**A CONTRIBUIÇÃO DA VIDEOANÁLISE EM UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA
DETERMINAR OS EFEITOS DA RESISTÊNCIA DO AR SOBRE UM PARAQUEDAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Licenciatura em Física do Centro de
Ciências da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do grau de
Licenciado em Física.

Aprovada em: 14/07/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Nildo Loiola Dias
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Davi Monteiro Dantas
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P916c Prado, Carlos Eduardo Gama.
A contribuição da videoanálise em uma sequência didática para determinar os efeitos da resistência do ar sobre um paraquedas / Carlos Eduardo Gama Prado. – 2022.
29 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Física, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva.
1. Videoanálise. 2. Aplicativo Tracker. 3. Leis de Newton. 4. Resistência do ar. 5. Sequência didática. I. Título.

CDD 530

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao bondoso Deus que dá sabedoria a todos que o pedem, liberalmente e sem censura, com grande alegria.

Aos amigos de jornada que me afixam no convívio e me fazem prosperar. Suas vidas silenciosas me impulsionam a não desistir.

Ao meu orientador, Professor Doutor Marcos Antônio Araújo Silva pelas sugestões, observações, disponibilidade e paciência.

Ao Professor Doutor Michael Ferreira de Souza e ao Mestre Francisco Adeil Gomes de Araújo que me ajudaram e depositaram confiança em mim quando esta me faltava.

Agradeço à minha esposa Dayanne que me retribui com afeto e compreensão, o que torna o nosso lar equilibrado e harmonioso.

Às minhas filhas Beatriz e Maria Eduarda que transformam os dias, em explosão de alegria, quando a vida parece não estar fácil.

E por fim, mas não menos importante, ao corpo docente e administrativo da UFC, que tão bem me recepcionou e permitiu que o caminho a ser percorrido até a conclusão da graduação não tivesse mais obstáculos do que os naturais.

RESUMO

Neste trabalho, apresenta-se a elaboração de uma sequência didática para o ensino das aplicações das Leis de Newton, em particular, os casos especiais de resistência do ar, atuando em um paraquedas. Para tal, foi explorado uma videoanálise através do software Tracker, que permite aos estudantes tornarem-se agentes centrais e ativos nas atividades experimentais, ao filmarem os experimentos, obterem e tratarem os respectivos dados. A sequência foi produzida tendo como referencial teórico a Teoria de Aprendizagem Significativa. Ao utilizar de forma criteriosa a tecnologia a disposição do aluno, torna-se possível uma aprendizagem mais efetiva e potencializa uma educação que busque emancipar e dar autonomia ao aluno, especialmente quando conjuga qualidade acadêmica e tecnologias livres. Nesse sentido, esse trabalho fornece aos estudantes fundamentação teórica por meio de atividades experimentais significativas em aulas de física mediadas por tecnologias educacionais livres que apresentam, ao mesmo tempo, qualidade, flexibilidade de uso e baixo custo, de modo que sejam compatíveis com a realidade educacional brasileira.

Palavras-chave: videoanálise; aplicativo Tracker; leis de Newton; resistência do ar; sequência didática.

ABSTRACT

In this work, we present the elaboration of a didactic sequence for teaching the applications of Newton's Laws, in particular, the special cases of air resistance, acting on a parachute. To this end, video analysis was explored through the Tracker software, which allows students to become central and active agents in experimental activities, by filming the experiments, obtaining and processing the respective data. The sequence was produced with the Theory of Meaningful Learning as a theoretical framework. By judiciously using the technology available to the student, a more effective learning becomes possible and enhances an education that seeks to emancipate and empower the student, especially when it combines academic quality and free technologies. In this sense, this work provides students with theoretical foundations through significant experimental activities in physics classes mediated by free educational technologies that present, at the same time, quality, flexibility of use and low cost, so that they are compatible with the reality of Brazilian education.

Keywords: videoanalysis; Tracker app; Newton's laws; air resistance; following teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Paraquedas MC1-1C	19
Figura 2 – Diagrama de Forças atuando no paraquedas.....	19
Figura 3 – Tela do aplicativo Tracker.....	23
Figura 4 – Análise da 2ª Lei de Newton utilizando o Tracker.....	23
Figura 5 – Análise da queda do paraquedas experimental.....	25

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Funções do movimento.....	17
Gráfico 2 – Aceleração (m/s^2) versus tempo (s).....	26
Gráfico 3 – Velocidade (m/s) versus tempo (s).....	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	METODOLOGIA.....	13
3	REVISÃO TEÓRICA.....	15
3.1	Forças atuantes em um corpo.....	15
3.2	Resistência do ar.....	16
3.3	Paraquedas.....	18
4	APLICATIVO TRACKER.....	21
5	SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	24
6	CONCLUSÃO	27
	REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

Quais são as ações da natureza que atuam em um paraquedas sob o efeito de um campo gravitacional, permitindo que o mesmo alcance uma velocidade limite de queda, que seja segura para a aterrissagem de seres humanos ou cargas? O presente trabalho pretende investigar a aceleração da gravidade por videoanálise utilizando o software Tracker e obter uma descrição detalhada dos efeitos da resistência do ar e sua contribuição para se atingir uma velocidade limite segura e eficaz. Para atingir os objetivos do presente trabalho, será apresentada uma revisão teórica baseada nas Leis de Newton e na dinâmica dos fluidos, onde nos deteremos aos efeitos da resistência do ar em contato com a superfície do paraquedas.

Segundo Genz e Vieyra (2015, p 313):

A dinâmica dos fluidos é um tópico cada vez mais importante numa economia globalizada. Apesar da sua importância na sociedade, o tema é muitas vezes relegado aos livros de Ensino Médio e tende a cair nas lacunas entre disciplinas mais profundas como a cinemática e termodinâmica. Como resultado, é fortemente negligenciada.

Para atingir um nível de engajamento dos discentes com a proposta educacional apresentada, a aprendizagem será auxiliada pelas tecnologias que estão presentes no dia a dia dos estudantes. As tecnologias de telefonia móvel estão cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas, porém o que se observa é que elas são pouco utilizadas em sala de aula como recursos didáticos. Os alunos desconhecem um mundo sem tecnologias e estão acostumados a usar celulares e computadores cada vez mais avançados, a interagir em ambientes virtuais, a serem líderes nestes ambientes e principalmente a buscar e selecionar os conhecimentos que os atraem.

No entanto, este comportamento participativo, muitas vezes não é observado em sala de aula. Desta maneira, esta aplicação é uma oportunidade para verificar o nível de aceitação e participação dos alunos em atividades que utilizem uma tecnologia que está presente no cotidiano deles.

Com o intuito de inserir essa valiosa ferramenta no contexto educacional, por meio de uma sequência didática, será realizado um procedimento de filmagem do movimento do paraquedas em deslocamento e, em seguida, far-se-á uma discussão criteriosa dos resultados.

No que se refere ao tema específico que trataremos nesse trabalho, a dinâmica, um assunto que historicamente é de grande importância para a física, seu ensino fica geralmente dedicado a aplicação de fórmulas, muitas vezes em detrimento de outros importantes conceitos físicos da Mecânica e as razões estritamente físicas são simplesmente deixadas de

lado. Se adicionarmos a isso, um ensino fundamentado no modelo clássico da narrativa, onde o aluno ocupa uma condição passiva, de receber o conhecimento do professor, e da ausência de atividades experimentais que permitam a discussão dos fenômenos, temos um cenário em que o aprendizado em física é prejudicado, uma vez que não passa de um conjunto de regras ou operações matemáticas que o aluno aprende para fazer uma prova.

Nesse sentido, aliar a experimentação a uma participação ativa do aluno, de forma que a aprendizagem tenha significado, é uma perspectiva que agrada e pode colaborar para um ensino de física que faça sentido.

O experimento de descida do paraquedas, aliado ao formato tecnológico da videoanálise pretende influenciar a aprendizagem com o intuito de ancorar novos conceitos àqueles que os alunos já possuem. A Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel vê o armazenamento das informações de forma organizada, respeitando uma hierarquia conceitual, que são representações sensoriais do indivíduo (MOREIRA, 1982). Neste sentido, conceitos já acolhidos na estrutura cognitiva do aluno, como por exemplo a força peso, poderão servir de base para um entendimento mais amplo dos conceitos da dinâmica dos fluidos e as contribuições da resistência do ar e pressão no alcance da velocidade terminal do paraquedas.

Como precaução ante a possibilidade de não haver ainda, conceitos já atingidos pelos estudantes, ser-lhe-ão introduzidos elementos teóricos sob título de revisão, a fim de construir uma aprendizagem mecânica, que serve como um contínuo em suporte a aprendizagem significativa.

Por fim, contribuindo com a autonomia do docente, este trabalho é baseado na pluralidade e identidade de cada docente, mantendo suas definições metodológicas e avaliativas. Outro ponto importante a ser abordado será o desenvolvimento proximal, que permite o planejamento e avaliação do percurso cognitivo desenvolvido pelos alunos na aquisição ou ampliação dos conhecimentos (VIGOTSKY, 2010). Como intenção final deste trabalho, sua contribuição será alcançada com a integração e a articulação de saberes, que denotam a necessidade de romper com a fragmentação e dissociação dos conceitos clássicos do currículo escolar.

2 METODOLOGIA

Para colher subsídios que permitissem formular uma possível solução para as questões didáticas, o delineamento desta pesquisa contemplou consulta à manuais técnicos, bibliografia variada, fichamento das fontes e uma análise de resultados.

Segundo LAKATOS (2021) os métodos de abordagem se caracterizam por uma abordagem mais ampla, em nível de abstração mais elevado, dos fenômenos da natureza e da sociedade. Para alcançarmos os objetivos delineados, utilizou-se de uma abordagem dedutiva, onde pode-se partir das teorias e leis para o caso mais particular da queda de um paraquedas sob o efeito da resistência do ar, em oposição ao campo gravitacional ao qual o objeto está inserido.

Para constituir etapa mais concreta de investigação e alcançar a finalidade proposta e mais restrita da explicação dos fenômenos apresentados, utilizou-se do método procedimental comparativo, onde se pode verificar as similaridades encontradas na literatura específica, explicar as divergências encontradas e possíveis soluções.

Conforme destaca BENFATTI (2011), a motivação para utilização da sequência didática enquanto estratégia de melhoria do aprendizado dos estudantes é utilizar atividades elaboradas e desenvolvidas seguindo uma lógica sequencial de compartilhamento e evolução do conhecimento, possibilitando ao professor dar mais sentido ao seu processo de ensino e, ao mesmo tempo, aumentar o engajamento dos alunos nas atividades pedagógicas, e conseqüentemente, ao seu aprendizado.

Utilizaremos a sequência didática como estratégia educacional a fim de ajudar os alunos a resolverem uma ou mais dificuldades reais sobre um tema específico. Seu resultado vem a partir da construção e acumulação de conhecimento sobre o assunto em questão, obtido por meio do planejamento e execução.

A designação ‘sequência didática’, assim denominada por ZABALA (1998), tem como significado a organização prescrita das ações ordenadas e propostas para uma aula. O objetivo é ordenar lógica e progressivamente as etapas a serem desenvolvidas pelos discentes, com a intenção de alcançar o desenvolvimento metodológico esperado na atividade didática em foco.

Neste diapasão, temos que:

a sequência didática não será prescrita como pautas fechadas, mas sim, como eixos norteadores, pois possibilitam ao docente a orientação de sua ação e da dinâmica curricular. Portanto, não cabe considerá-las como etapas definitivas e inflexíveis, mas como mapas didáticos que orientarão o desenvolvimento das unidades de ensino. (BENFATTI, 2011, p. 296-297)

Com isso, será alcançada uma importante competência geral, determinada pela Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018, p. 9), como segue:

Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 Forças atuantes em um corpo

Uma Força é uma interação entre dois corpos ou entre o corpo e seu ambiente (YOUNG, 2016, p. 111). Os princípios fundamentais usados para analisar o movimento dos corpos foram enunciados por Isaac Newton (1643-1727) no seu livro publicado em 1687: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural), que hoje são conhecidos como as Leis de Newton para determinar a dinâmica dos movimentos dos corpos.

A tendência de um corpo permanecer deslocando-se, uma vez iniciado o movimento, ou permanecer em repouso, caso esse seja seu estado inicial, resulta de uma propriedade denominada inércia. Justamente a primeira lei de Newton, conhecida como Lei da Inércia, afirma que: quando a soma vetorial das forças que atuam sobre um corpo é igual a zero, o corpo está em equilíbrio e possui aceleração nula. Ou seja, quando o corpo está inicialmente em repouso, ele permanece em repouso; quando o corpo está inicialmente em movimento; ele continua em movimento com velocidade constante.

A aplicação de uma Força em um ponto material produz nele uma variação de velocidade. Para definir a segunda lei, Newton começou introduzindo a definição de “quantidade de movimento”, também conhecido como momento linear. A definição de Newton foi: “A quantidade de movimento é a medida do mesmo, obtida conjuntamente a partir da velocidade e da quantidade de matéria.” (NEWTON, 2016, p. 40).

Conforme destaca NUSSENZVEIG (2013), o momento linear (p) de uma partícula é o produto de sua massa por sua velocidade:

$$p = mv$$

Decorre que, se considerarmos que a massa não varia com o tempo, e obtendo a taxa de variação do momento linear em relação ao tempo, encontraremos que:

$$\frac{dp}{dt} = m \frac{dv}{dt} = ma$$

O que corresponde à formulação de Newton para a 2ª Lei: “A variação do momento é proporcional à força impressa, e tem a direção da força.”

As Forças possuem caráter vetorial, pois precisam ser descritas por meio de uma direção, sentido e módulo. A unidade no Sistema Internacional (SI) do módulo de uma força é

o newton, abreviado por N.

“A toda ação há sempre oposta uma reação igual ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.” (NEWTON, 2016, p. 54). Com esta afirmação, Newton estabeleceu a sua terceira lei que hoje é conhecida como o “Princípio da Ação e Reação”. É importante notar que a ação e a reação estão sempre aplicadas a corpos diferentes.

Quando há contato direto entre os corpos, ou entre o corpo e seu ambiente, as forças são denominadas forças de contato. Entre as forças de contato mais comuns, podemos citar as forças de atrito, que se opõe ao sentido de movimento, as forças de tensão, que são forças por unidade de área e as forças normais, que são aplicadas perpendicularmente à superfície onde o objeto está em contato. Existem também, as forças de longo alcance, que atuam em corpos muito afastados entre si. Essas forças exercem uma atração gravitacional entre os corpos e são conhecidas como força Peso. Definida como:

$$P = mg$$

onde m é a massa do objeto e g é a aceleração da gravidade sobre a qual o objeto está exposto.

3.2 Resistência do ar

Para entender sobre a resistência do ar, é necessário apresentarmos o conceito de fluido. Um fluido é uma substância, em geral um gás ou um líquido, capaz de escoar (HALLIDAY e RESNICK, 2012, p. 55).

Em um fluido dois tipos de força devem ser considerados: forças normais e forças tangenciais à superfície, conhecidas também como forças de cisalhamento. Contudo, para os propósitos deste trabalho, uma boa descrição do comportamento dos fluidos pode ser construída desprezando-se, em primeira aproximação, os efeitos das forças tangenciais.

Para fins de análise do movimento de queda de objetos sob o efeito de um paraquedas, como será visto no experimento de videoanálise, trataremos o ar como um fluido ideal, isto é, incapaz de sofrer forças tangenciais. Nesta aproximação, a interação do ar com o paraquedas ocorre através de forças normais à superfície de contato. Essas forças normais dão origem a pressão na superfície do paraquedas. A pressão pode ser entendida com a distribuição da força normal por toda área de contato, em um fluido em equilíbrio, ela será a mesma em todas as direções.

No Sistema Internacional de unidades, a pressão é expressa numa unidade chamada

Pascal (Pa) definida como:

$$1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Newton/m}^2 \text{ ou } 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2.$$

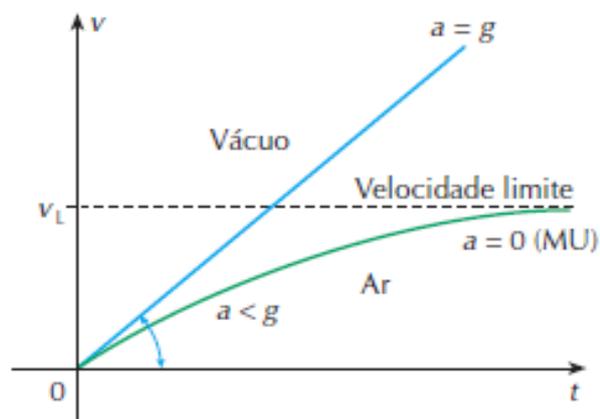
Estudos experimentais para verificar o comportamento aerodinâmico nos objetos sob o efeito do escoamento do ar, concluem que: a resistência do ar depende do formato do corpo, caracterizando-se por uma grandeza adimensional chamada coeficiente de arrasto aerodinâmico (C_a), pela densidade do ar onde o objeto está exposto, a área de seção transversal perpendicular ao movimento e também a intensidade da velocidade que o objeto imprime.

Ao analisar os efeitos da velocidade do fluido, aplicamos o conceito abaixo:

Para baixas velocidades, a resistência depende da viscosidade do fluido, e é geralmente proporcional à velocidade, opondo-se ao movimento através do fluido. Para velocidades mais elevadas, produz-se em geral uma turbulência no fluido, e o termo dominante da força de resistência é proporcional ao quadrado da velocidade. (NUSSENZVEIG, 2013, p. 118)

O gráfico nº 1 apresenta duas funções de movimento, ao considerar as condições ideais, onde há ausência de ar (vácuo), todos os corpos não encontrariam resistência e imprimiriam aceleração com o mesmo módulo da gravidade. Porém, quando existe uma velocidade relativa entre um fluido e um corpo sólido, seja porque o corpo se move através do fluido, seja porque o fluido passa pelo corpo, o corpo experimenta uma força de arrasto (F_{Arr}) que se opõe ao movimento relativo e é paralela à direção do movimento relativo do fluido.

Gráfico 1 – Funções do movimento



Fonte: RAMALHO (2009, p.240)

Se o arrasto inicial possuir módulo menor que o peso, a aceleração aumentará, imprimindo maior velocidade ao sistema. E o sistema, com maior velocidade, acarretará maior arrasto, como veremos na equação a seguir:

$$F_{arr} = \frac{1}{2} \rho_{ar} v^2 C_a A$$

Eventualmente, o arrasto aumentará até um ponto em que será igual a Força Peso, tornando o somatório das forças igual a zero e conseqüentemente a aceleração também será nula. Dizer que a aceleração é nula, significa dizer que a velocidade não está mudando e o sistema atingiu uma velocidade terminal, até atingir o solo.

A equação para a velocidade, ficará definida da seguinte forma:

$$v = \sqrt{\frac{2mg}{\rho_{ar} C_a A}}$$

3.3 Paraquedas

O paraquedas é um dispositivo que, aproveitando o efeito da resistência do ar, tem a finalidade de frear em pouco tempo o movimento de um corpo que se desloca em velocidade relativa por este fluido. Embora o primeiro salto com paraquedas é datado de 1797, somente na Primeira Guerra Mundial (1918) é que ele se tornou um eficiente equipamento de segurança (RAMALHO, 2009). Hoje o paraquedas é utilizado em salvamentos, no lançamento de tropas, no envio de suprimentos para locais de difícil acesso entre outras aplicações. Com o avanço da tecnologia e desenvolvimento da indústria, foram criados novos modelos, com materiais mais resistentes e seguros. Hoje é comum atividades esportivas com o uso deste equipamento.

De acordo com a fábrica de paraquedas Vertical do Ponto, de origem nacional, um exemplo de paraquedas, utilizado para lançamento de tropas militares, chamado MC1-1C (Figura 1), é produzido com a intenção de se alcançar uma velocidade terminal ao atingir o solo de aproximadamente 4-6 m/s, o que permite que o saltador amortea o impacto com segurança.

Mas o que mantém o paraquedas aberto?

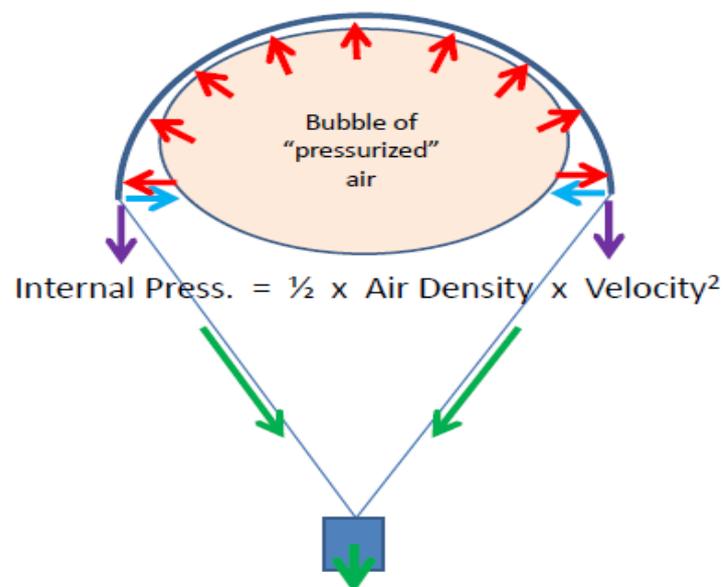
O objetivo do paraquedas é criar uma grande área de arrasto, suavizando a queda e impedir que o corpo caia muito depressa (RAMALHO, 2009). No primeiro momento em que o paraquedas ainda está abrindo, a força Peso é distribuída ao longo das linhas de sustentação do velame e possuem uma componente vertical e outra horizontal. Inicialmente, essas forças tendem a manter o paraquedas fechado. À medida que o paraquedas se move ele captura uma grande bolha de ar no interior do seu velame.

Figura 1 – Paraquedas MC1-1C



Fonte: Vertical do Ponto

Figura 2 – Diagrama de Forças atuando no paraquedas



Fonte: www.labratscientific.com

As componentes da força de contato, distribuídas ao longo da área coberta pelo velame, conforme identificado pelas setas de cor vermelha na figura 2, realizam uma pressão que compensam as forças causadas pela tensão das linhas de sustentação que possuem o

mesmo valor em módulo da força peso do objeto carregado. A Força Peso e a Força de Arrasto criada pela pressão interna no interior do velame agem no sistema à medida que ele cai pela atmosfera. Quando o paraquedas abre, ele cria, ainda mais área de arrasto. Alcançando a velocidade terminal, conforme descrito na subseção 3.2, a equação matemática que exprime o conceito será dada por:

$$P = \frac{1}{2} \rho_{ar} v^2 C_a A$$

Para fins de experimentação em sala de aula, poderá ser adotado um simulador de paraquedas de baixo custo e com características bastante simplificadas em relação a um paraquedas real. Porém, poderemos utilizar o experimento da videoanálise com o Tracker e analisar os dados obtidos experimentalmente e compará-los ao encontrado na literatura.

Por fim, cabe ressaltar que o design do paraquedas, utilizado em condições reais, é muito mais complexo do que apenas selecionar uma forma e dimensionamento do velame. Um paraquedas deve ser capaz de suportar cargas potencialmente pesadas durante o choque inicial de abertura e seu deslocamento.

4 APLICATIVO TRACKER

O Tracker é um software livre ligado ao projeto Open Source Physics, (OPEN SOURCE PHYSICS, 2022) que desenvolve programas com códigos abertos destinados ao ensino de física. Ele é uma ferramenta de modelagem construída sobre a biblioteca de código Open Source Physics Java. Os recursos do Tracker permitem realizar análise de vídeos quadro a quadro, tornando possível o estudo de diversos tipos de movimentos a partir de vídeos produzidos por celulares ou outros tipos de câmeras. O aplicativo Tracker pode ser acessado através do seguinte endereço eletrônico: <https://physlets.org/tracker/>.

A intenção dos desenvolvedores é possibilitar a professores e estudantes ferramentas computacionais de fácil manuseio e aprendizagem de forma que, o estudo dos fenômenos físicos seja visualizado, descrito e explicado de diferentes modos. Aplicar essas novas práticas no ensino de física nas escolas é romper com as constatações de PRETTO (2013, p. 252), o qual afirma:

Um olhar mais aguçado para o interior da escola encontrou-a ainda presa aos velhos paradigmas da cultura declinante. Uma escola centrada, basicamente, na linguagem escrita e na oralidade, na racionalidade e na busca de uma hierarquização do conhecimento. Uma escola que privilegia somente a razão, em detrimento da imaginação.

Com efeito, PRETTO (2013) complementa que não há mais espaço para formar um cidadão, apenas como mão de obra barata para uma sociedade tecnológica, mas sim, participativo que saiba dialogar com os novos valores e não apenas um receptor, um ser passivo.

O ensino experimental, de acordo com ALVES FILHO (2004), embora seja adequado ao ensino dos conteúdos, ainda não possui uma função primordial, pois são apresentados como atividades suplementares a serem desenvolvidas conforme a disponibilidade de tempo e somente após a ministração dos conteúdos. Em muitas situações, esses experimentos são apresentados com rígidas sequências de passos experimentais por meio de roteiros de laboratórios estruturados ao extremo, que torna o conteúdo exaustivo e desmotivante.

Como instrumento facilitador, em contrapartida, o Tracker possibilita cumprir várias funções no processo de ensino aprendizagem, sendo fundamental para a construção do conhecimento físico a partir de atividades experimentais (ALVES FILHO, 2004). Ele permite aos alunos acompanharem a evolução das grandezas físicas em tempo real, a manipulação dos dados e a construção dos gráficos a partir de tais observações.

De fato, pode-se observar algumas limitações encontradas na utilização do aplicativo.

Elas se dão quando os aparelhos filmadores possuem baixas resoluções temporais, por exemplo, quando as velocidades do objeto filmado, são da ordem de dezenas de metros por segundo, ou maiores, as imagens podem ficar borradas, pois o objeto percorre grandes espaços sem que haja possibilidade do mecanismo de gravação registrar os quadros de forma adequada, dificultando a obtenção dos valores de posição em função do tempo, por intermédio do aplicativo Tracker.

A qualidade dos resultados obtidos está ligada diretamente à qualidade da câmera. Assim, quanto melhor a resolução da câmera, melhor será a qualidade de imagem para marcar as posições do objeto de estudo, além disso, quanto mais quadros por segundo forem gravados, melhor será a resolução temporal dos experimentos. Sendo assim, há ocasiões que exigirão o uso de câmeras com maior resolução temporal, o que pode acabar encarecendo significativamente a realização de experimentos mediados pelo Tracker.

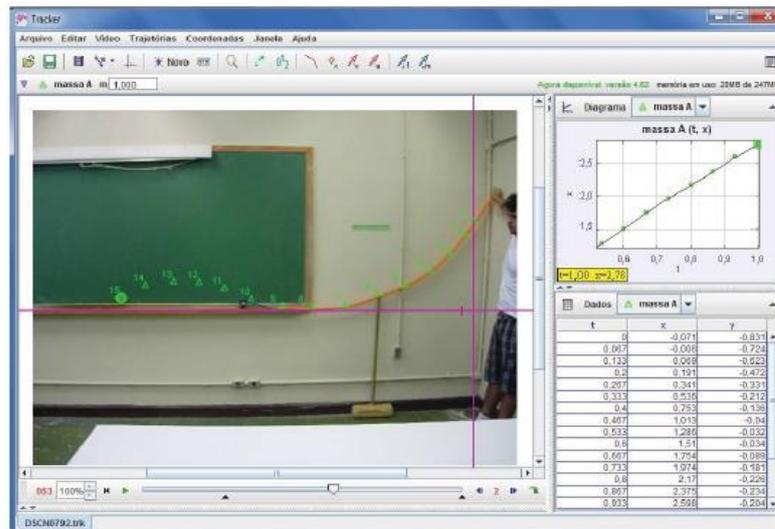
Porém em muitos experimentos de baixo custo, como por exemplo o que será apresentado mais adiante, é possível gravar, com câmeras digitais comuns, vídeos com taxas de dezenas de quadros por segundo. Por exemplo, com 20 quadros por segundo, a separação temporal entre quadros será de 0,05s. Assim, após gravar o vídeo, cria-se um mapa de movimento quadro a quadro do objeto cujo movimento está sendo estudado. Com isto, pode-se obter com relativa facilidade dezenas de pontos experimentais a serem analisados a fim de confirmar, investigar, desenvolver e explorar diversas teorias físicas.

A aplicação da videoanálise consiste na organização do experimento e na filmagem do movimento de interesse. Em seguida, transfere-se o arquivo de vídeo para o programa instalado no computador e faz-se a marcação dos pontos quadro a quadro. Os procedimentos necessários são explicados nos manuais presentes no programa (BROWN, 2009). Abaixo são apresentadas algumas capturas de telas típicas do funcionamento do aplicativo e suas funcionalidades. Na Figura 3, é apresentada uma tela típica do Tracker. Refere-se a um experimento de movimento parabólico no qual foi utilizado um carrinho de brinquedo. Na parte esquerda da tela, aparece recorte da filmagem realizada e notam-se as marcações (triângulos sobrepostos à lousa) representando o movimento quadro a quadro do carro, que abandona a pista depois de ter sido solto pelo estudante, que também está presente na imagem.

Com o objetivo de ilustrar um pouco mais a respeito das características do aplicativo Tracker, pode-se observar na Figura 4, um experimento envolvendo a segunda lei de Newton. Os pontos no centro, à esquerda, representam quadros sucessivos do movimento do carrinho.

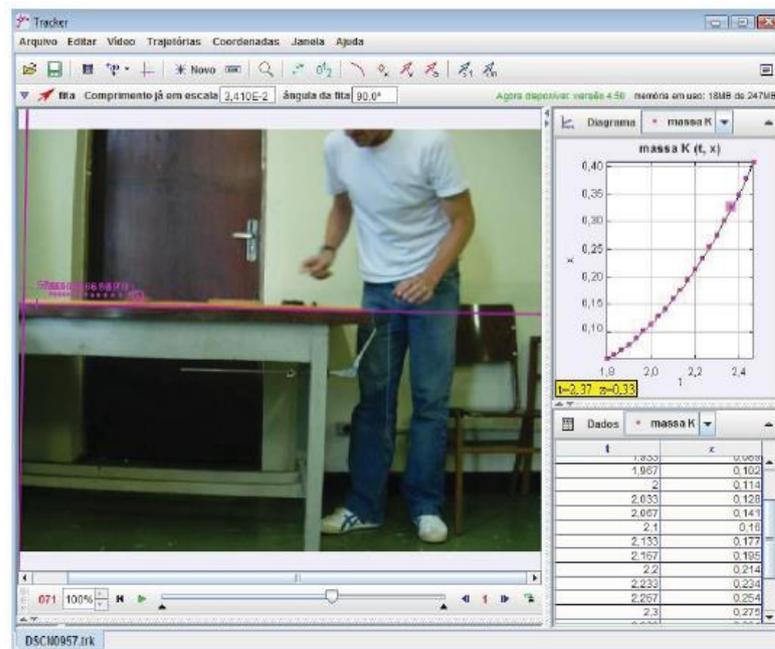
À direita, é apresentada uma tabela com os dados de posição e tempo (abaixo) e o respectivo gráfico, na parte superior.

Figura 3 – Tela do aplicativo Tracker



Fonte: BEZERRA JUNIOR, 2012.

Figura 4 – Análise da 2ª Lei de Newton utilizando o Tracker



Fonte: BEZERRA JUNIOR, 2012.

5 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Para desenvolver a proposta apresentada, poderá ser realizada uma sequência didática, a fim de apresentar um conteúdo novo, que instigue a curiosidade dos estudantes e desperte o interesse pelas causas dos movimentos dos corpos e suas explicações físicas.

Para tal, a sequência didática poderá ser dividida em três partes: na primeira parte poderá ser transmitido um vídeo com imagens de paraquedistas saltando de aeronaves em pleno voo e, posteriormente, realizar um questionário, a fim de sedimentar o conhecimento prévio dos estudantes. Neste primeiro momento, as respostas não deverão ser corrigidas, apenas servirão para o professor identificar os pontos críticos que necessitam de maior atenção e para que seja possível retomar os conceitos desenvolvidos por meio de uma revisão teórica. Sendo possível assim, dar mais ênfase às questões que apresentaram maior erro conceitual. O questionário prévio poderá abordar questões que apresentam, frequentemente, concepções alternativas, possibilitando aos alunos se depararem com situações de confronto entre o que eles possivelmente responderam nesta etapa e na conclusão das atividades.

Ao apresentar a situação problema, poderá ser solicitado aos estudantes que apresentem hipóteses que solucionem a questão.

Na segunda parte da sequência didática, será realizado um experimento de baixo custo que objetiva realizar a gravação, com auxílio de um smartphone, do movimento de um paraquedas guiado por uma corda vertical, para que não sofra variação lateral e impossibilite a captura do movimento total do seu eixo vertical. De posse do vídeo, serão realizados procedimentos no aplicativo Tracker, a fim de confeccionar gráficos, tabular os resultados e analisar o comportamento do paraquedas do experimento. O professor pode chamar a atenção do gráfico feito pelo software e convidar os alunos a responderem novamente à pergunta da primeira parte. De posse de uma ficha para colocar suas respostas, os alunos, após a videoanálise tem a chance de reverem o que responderam no questionário prévio, quando somente assistiram ao vídeo, sem uma consolidação teórica e sem a apuração da análise do experimento filmado. Até aqui, a intervenção do professor é somente mediadora. Depois que a turma terminar de responder, o professor poderá iniciar uma discussão com um grande grupo, pedindo respostas, questionando ideias contraditórias e encaminhando a discussão para a resposta correta à questão. Os alunos são convidados então, a escreverem logo abaixo das respostas anteriores as conclusões da discussão, em local próprio no material do aluno. Aqui espera-se que a turma confronte a resposta cientificamente aceita, com as duas respostas dadas por eles anteriormente. Estas partes iniciais da atividade poderão ser planejadas para

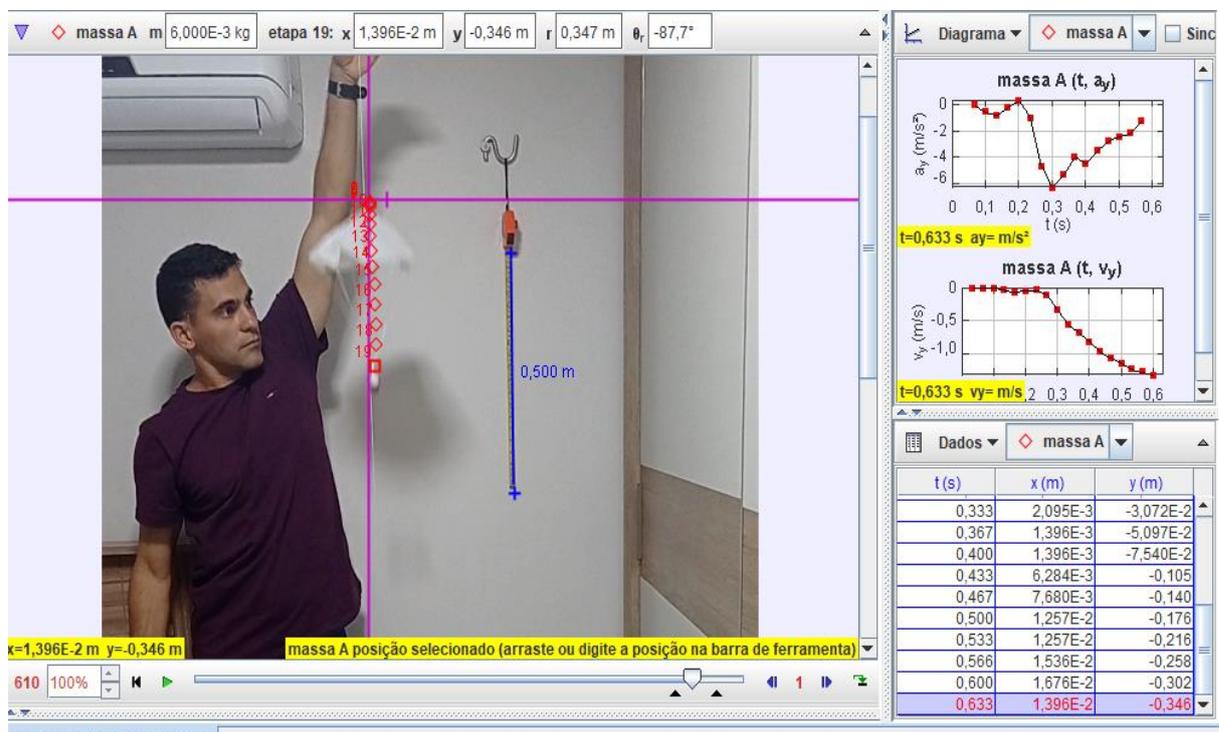
serem feitas em uma aula de 50 min.

Por fim, na terceira e última parte com um planejamento para ser executado em mais 50 minutos de aula, poderão ser introduzidas as equações da resistência do ar e das leis de Newton que atuam sobre o paraquedas, a formalização dos conceitos e resolução de exercícios conceituais e também quantitativos. A avaliação de aprendizagem poderá ser feita por meio da transformação do pensamento ao longo das respostas apresentadas nos questionários preliminares e concluído nas respostas apresentadas nas resoluções de questões, juntamente com o desenvolvimento do pensamento crítico por parte dos estudantes.

O tempo total estimado para aplicação deste experimento poderá ser concluído em dois tempos de 50 min, em bom acordo com a realidade de carga horária da disciplina de Física no ensino médio. A seguir, apresentaremos imagens extraídas do Tracker que poderão auxiliar a presente sequência didática. O vídeo completo do experimento poderá ser acessado em: <https://youtu.be/qRXmBeDuWg8>.

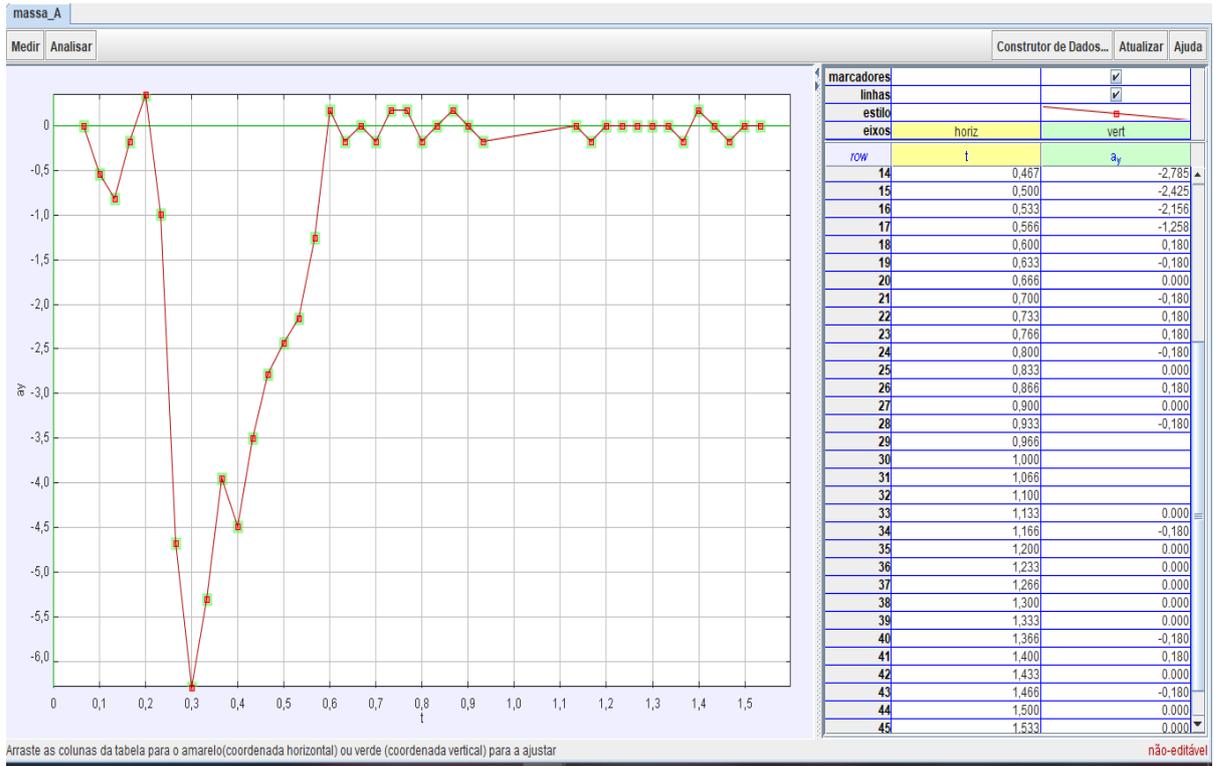
Na figura 5, temos a análise do movimento de descida do paraquedas, à medida que os pontos são locados quadro a quadro, o aplicativo atribui automaticamente os pontos no gráfico na parte superior direita. No gráfico 2 temos o gráfico da aceleração em função do tempo e no gráfico 3 temos a velocidade em função do tempo, cabendo destacar o alcance terminal da velocidade com valores próximos a $-1,3$ m/s.

Figura 5 – Análise da queda do paraquedas experimental



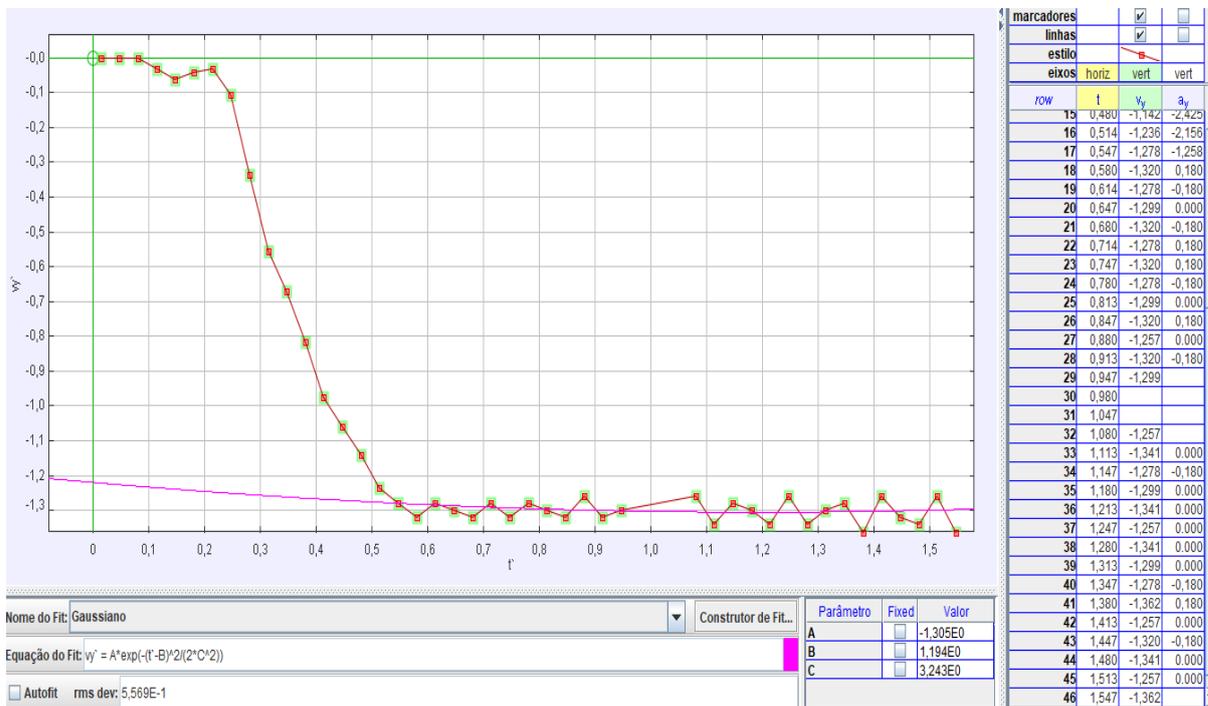
Fonte: próprio autor.

Gráfico 2 – aceleração (m/s²) versus tempo (s)



Fonte: próprio autor.

Gráfico 3 – velocidade (m/s) versus tempo (s)



Fonte: próprio autor.

6 CONCLUSÃO

O experimento apresentado possibilita ao estudante, dentro da perspectiva da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, adquirir o conhecimento de forma permanente e espontâneo. Embora a filmagem e a consecução do experimento possam ter algumas desvantagens, o quadro geral se apresenta muito satisfatório para apresentação da disciplina de Física em sala de aula.

O conceito físico apresentado possibilita ao estudante a abertura de possibilidades para o conhecimento do ramo da Física. Somente o conhecimento de cálculos matemáticos e resolução de problemas, não aguça no aluno o desejo de se aprofundar em temas relevantes que ocorrem em seu cotidiano. Solidificar as razões físicas para acontecimentos que ocorrem no dia a dia do aluno, permite que o mesmo se interesse por aprofundar as perguntas sobre temas relevantes, que antes não lhes eram trazidas a luz, em meio a cálculos burocráticos e equações matemáticas abstratas, que de acordo com FREIRE (2017), que só reproduziam e perpetuavam uma educação bancária.

REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, José de Pinho. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático, **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Santa Catarina, v. 21, n. especial, p. 44-58, 2004.

BENFATTI, Xênia Diógenes. Sequência didática: como desenvolver e aplicá-la no contexto escolar e acadêmico. *In: Revista de Humanidades UNIFOR*, v. 26, p. 295-308, Fortaleza, 2011. Disponível em: <https://uol.unifor.br/oul/conteudosite/?cdConteudo=3678953>. Acesso em: 05 jul. 2022.

BEZERRA JUNIOR, Arandi Ginane; LENZ, J.A.; OLIVEIRA, L.P.; SAAVEDRA, N. Videoanálise com Software livre Tracker no Laboratório Didático de Física: movimento parabólico e segunda lei de Newton. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Curitiba, v. 29, p. 469-490, 2012.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

BROWN, Douglas. COX, Anne. J. **Innovative uses of video analysis**. *The Physics Teacher*. v. 47. p. 145-150, Buckner, 2009.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 63. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2017.

GENSZ, F.; VYEIRA, R. Evaluating the use of flight simulators of the NASA/AAPT “Aeronautics for introductory Physics” Educator Guide. *In: Proceedings of the 20th International Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning, 2015*. European Physical Society. Munich, p. 313-322, 2015. Disponível em: https://epub.ub.uni-muenchen.de/29030/7/MPTL20_Proceedings.pdf. Acesso em: 05 jul 2022.

HALLIDAY, David. RESNICK, Robert. WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física: gravitação, ondas e termodinâmica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022. v.2.

LABRATSCIENTIFIC. **Página Inicial**. Disponível em: <http://www.labratscientific.com/>. Acesso em: 07 jul. 2022.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MOREIRA, Marco Antônio; MASINI, Elcie F. Salzano. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

NEWTON, Isaac Sir. **Principia: princípios matemáticos de filosofia natural**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, p. 40-54, 2016. Livro I.

NUSSENZVEIG, Herch Moisés. **Curso de Física Básica 1: mecânica**. 5. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2013.

OPEN SOURCE PHYSICS. **Página Inicial**. Disponível em: <http://www.compadre.org/osp/>. Acesso em: 07 jul. 2022.

PHYSLETS. **Página inicial**. Disponível em: <https://physlets.org/tracker/>. Acesso em: 12 jul. 2022.

PRETTO, Nelson de Luca. **Uma escola sem/com futuro**: educação e multimídia. 8. ed. Salvador: EDUFBA, 2013.

RAMALHO JUNIOR, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Física 1**: os fundamentos da física. 10. ed. São Paulo: Moderna, 2009. v.1.

VERTICAL DO PONTO. **Página inicial**. Disponível em: <https://www.verticaldoponto.com.br/paraquedas-militares.html>. Acesso em: 12 jul. 2022.

VYGOTSKY, Lev Semenovicth; LURIA, Alexander R.; LEONTIEV, Alex N. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem**. 11. ed. São Paulo: Ícone, 2010.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A.; SEARS, Francis Weston; ZEMANSKY, Mark Waldo. **Física 1**: mecânica, 14. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa**: como ensinar. Porto Alegre: ArtMed, 1998.