



**INSTITUTO
FEDERAL**

Alagoas

**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS MACEIÓ
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

ALYSON SILVA DA COSTA

**VÍDEO-ANÁLISE NO ENSINO DE FÍSICA: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE
O SOFTWARE TRACKER E SENSORES DE KITS EXPERIMENTAIS**

MACEIÓ, AL

2025

ALYSON SILVA DA COSTA

VÍDEO-ANÁLISE NO ENSINO DE FÍSICA: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O
SOFTWARE TRACKER E SENSORES DE KITS EXPERIMENTAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Licenciatura em Física do Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Maceió, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Salgueiro Passos.

Coorientador: Prof. Dr. Alex Emanuel Barros Costa.

MACEIÓ, AL

2025



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Maceió
Biblioteca Benevides Monte

530.07
C838v

Costa, Alyson Silva da.

Vídeo-análise no ensino de física [recurso eletrônico] : um estudo comparativo entre o software Tracker e sensores de kits experimentais / Alyson Silva da Costa. – Dados eletrônicos (1 arquivo : 1,94 MB). – 2025.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: Internet.

Orientação: Prof. Dr. Frederico Salgueiro Passos.

Coorientação: Prof. Dr. Alex Emanuel Barros Costa.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus Maceió*, Maceió, 2025.

1. Física – Ensino – Vídeo-análise. 2. Software livre – Tracker. 3. Física – Práticas experimentais. 4. Física experimental. I. Título.

Franciane Monick Gomes de França
Bibliotecária – CRB 4/1831



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Alagoas
Reitoria

ANEXO À PORTARIA Nº 1483/GR, DE 19/09/2012.

ATA DE DEFESA DO TCC

Aos 1 (um) dia do mês de dezembro do ano de 2025, às 14h, foi realizada, por meio da plataforma Google Meet, a solenidade de defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do discente **ALYSON SILVA DA COSTA**, matrícula **2019000500**, intitulada **"VIDEO-ANÁLISE NO ENSINO DE FÍSICA: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O SOFTWARE TRACKER E SENSORES DE KITS EXPERIMENTAIS"**, como pré-requisito para a conclusão do Curso de **LICENCIATURA EM FÍSICA**.

PARECER FINAL

O candidato foi aprovado sem ressalvas pela banca examinadora.

ALUNOS

1. Alyson Silva da Costa

ASSINATURA DA BANCA EXAMINADORA

(Orientador/Presidente da Banca)
Prof. Dr. Frederico Salgueiro Passos

Documento assinado digitalmente
FREDERICO SALGUEIRO PASSOS
Data: 02/12/2025 16:32:14-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Me. Manoel Pereira da Silva Júnior

Documento assinado digitalmente
MANOEL PEREIRA DA SILVA JUNIOR
Data: 02/12/2025 10:08:50-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Marcos Henrique Abreu de Oliveira

Documento assinado digitalmente
MARCOS HENRIQUE ABREU DE OLIVEIRA
Data: 02/12/2025 09:34:52-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e sabedoria concedidas ao longo desta trajetória.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional, incentivo constante e por acreditarem em meu potencial desde o início desta jornada acadêmica.

Aos professores Alex Costa e Frederico Passos, pela dedicação, pela orientação e pelas valiosas contribuições que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores do curso de Licenciatura em Física do IFAL – Campus Maceió, pela transmissão de conhecimento, experiências e exemplos que levarei para a vida profissional.

Ao técnico de laboratório Jeremias, pela colaboração e disponibilidade em diversos momentos do curso, contribuindo de forma significativa para minha formação.

Aos colegas de curso e amigos, pela parceria, incentivo e companheirismo ao longo desta caminhada.

RESUMO

Este trabalho investiga o uso do software livre Tracker como ferramenta de apoio ao ensino de física, especialmente em contextos nos quais a ausência/deficiência de laboratórios dificulta a realização de práticas experimentais. O objetivo principal é avaliar a robustez e a aplicabilidade pedagógica dos resultados obtidos por vídeo-análise em comparação com aqueles obtidos por sensores eletrônicos presentes em kits experimentais, tendo como foco a determinação da aceleração gravitacional. Foram analisados os casos da queda livre dos corpos e do pêndulo simples, com dados coletados tanto por meio dos sensores dos kits quanto por registros em vídeo processados no Tracker. A análise estatística mostrou que os resultados obtidos com o software apresentam boa concordância com os valores teóricos esperados e, em alguns casos, menor desvio que os experimentos realizados com sensores, evidenciando o potencial pedagógico e a confiabilidade da ferramenta no ensino de Física experimental.

Palavras-chave: práticas experimentais; vídeo-análise; ensino de Física;

ABSTRACT

This study investigates the use of the open-source software Tracker as a supporting tool for physics education, particularly in contexts where the absence/deficiency of laboratories hinders the execution of experimental activities. The main objective is to evaluate the robustness and pedagogical applicability of results obtained through video analysis, comparing them with those acquired using electronic sensors from commercial experimental kits, focusing on the determination of the gravitational acceleration. The experiments analyzed include free fall and the simple pendulum, with data collected both from the kits' sensors and from video recordings processed in Tracker. Statistical analysis showed that the results obtained with the software are in good agreement with the theoretical values and, in some cases, present smaller deviations than those from sensor-based experiments, highlighting the pedagogical potential and reliability of the tool for experimental Physics teaching.

Keywords: experimental practices; video analysis; Physics education;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Relação entre distensão da mola e massa	21
Figura 2	Movimento do carrinho de pilha	22
Figura 3	Posição em função do tempo	22
Figura 4	Tracker em processo de obtenção de dados	23
Figura 5	Valores de L, T e g correspondente ao experimento e o Tracker	24
Figura 6	Aceleração em função do tempo	27
Figura 7	Queda livre	30
Figura 8	Pêndulo simples	31
Figura 9	Kit queda livre Cidepe	36
Figura 10	Kit pêndulo simples Cidepe	36
Figura 11	Sensor fotoelétrico	36
Figura 12	Multicronômetro digital	37
Figura 13	Iphone 11	37
Figura 14	Queda livre, Vídeo-análise	39
Figura 15	Posição em função do tempo	40
Figura 16	Pêndulo simples, Vídeo-análise	42
Figura 17	Comprimento do barbante em função do período.	43
Figura 18	Site oficial do Tracker	49
Figura 19	Interface inicial do Tracker	50
Figura 20	Importando um vídeo no Tracker	51
Figura 21	Selecionando um vídeo para análise	51
Figura 22	Vídeo carregado na interface inicial.	52
Figura 23	Ajuste de quadro inicial e final	52
Figura 24	Fita métrica e eixo de coordenadas	53
Figura 25	Sistema calibrado	53
Figura 26	Coleta dos dados	53
Figura 27	Tabela de dados	54
Figura 28	Gráfico obtido através das marcações feitas no objeto	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Dados dos sensores da Cidepe queda livre	41
Tabela 2 Dados do software Tracker queda livre	42
Tabela 3 Dados dos sensores da Cidepe para o pêndulo simples	44
Tabela 4 Dados do software Tracker para o pêndulo simples	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Fundamentos teóricos da aprendizagem significativas	14
2.2 O ensino de física experimental na educação básica	16
2.3 O uso de Software educacionais como ferramenta de ensino de Física	19
2.4 A vídeo-análise como recurso didático	20
2.5 O software Tracker e a aplicação da vídeo-análise no ensino de Física	20
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS	25
3.1 Experimento da Queda Livre	25
3.2 Experimento do Pêndulo Simples	31
3.3 Teoria de erros	33
3.4 Caracterização da pesquisa	34
3.5 Instrumentos e procedimentos de coleta de dados	35
4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO	39
4.1 Queda Livre dos corpos: análise comparativa	39
4.2 Pêndulo Simples: análise comparativa	42
4.3 Discussão geral dos resultados	45
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS	46
REFERÊNCIAS	47
APÊNDICE	49

1 INTRODUÇÃO

Partindo-se do seguinte problema de pesquisa: Qual a confiabilidade e aplicabilidade dos resultados obtidos por sensores eletrônicos em kits experimentais na determinação da aceleração da gravidade em comparação com os resultados obtidos por meio da vídeo-análise? Levanta-se a hipótese que os resultados obtidos por meio da vídeo-análise com o Tracker devem apresentar elevada proximidade com o valor teórico da aceleração gravitacional, e em alguns casos, com maior precisão que os sensores dos kits experimentais.

O ensino de física, especialmente na educação básica, enfrenta desafios recorrentes, entre eles a redução da carga horária, a carência de laboratórios e a dificuldade de integração entre teoria e prática. Essas limitações, somadas à abordagem tradicional centrada na resolução mecânica de exercícios, frequentemente reforçam a percepção dos estudantes de que a disciplina é abstrata e de difícil compreensão (Moreira, 2018).

Esses obstáculos afetam diretamente a forma como os professores devem planejar suas aulas. Nesse contexto, a interdisciplinaridade torna-se praticamente inexistente, e as aulas experimentais chegam a ser percebidas como uma realidade distante. Tal contexto reforça a visão negativa que os estudantes têm sobre a física, disciplina frequentemente considerada de difícil compreensão. Além disso, outro fator que reforça essa percepção é o fato de os alunos serem treinados apenas para a resolução de problemas, uma vez que o objetivo do ensino passa a ser simplesmente “passar” de ano, e não aprender efetivamente a disciplina. Moreira (2018) é enfático ao afirmar:

Paradoxalmente, no entanto, esse ensino está em crise. A carga horária semanal que chegou a 6 horas-aulas por semana, hoje é de 2 ou menos. Aulas de laboratório praticamente não existem. Faltam professores de Física nas escolas e os que existem são obrigados a treinar os alunos para as provas, para as respostas corretas, ao invés de ensinar Física. A interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade são confundidas com não disciplinaridade e tiram a identidade da Física (2018, p.73).

O aprendizado só se torna significativo, quando os estudantes são capazes de relacionar o novo conhecimento com os conhecimentos anteriores, pois dessa forma os estudantes assumem o protagonismo da aprendizagem, não sendo mais considerados meros recipientes onde é depositado o conhecimento. Entende-se aqui

aprendizagem significativa como processo através do qual uma nova informação se relaciona de maneira não arbitrária e substantiva à estrutura cognitiva do aprendiz (Ausubel, 1963, p.58)

O professor, dentro da perspectiva aqui adotada, deve também assumir um papel mediador no processo de ensino-aprendizagem, estabelecendo uma conexão que permita ao aluno sentir-se parte desse processo, o que favorece uma interação mais efetiva entre docente e estudante. É essencial que o professor incentive o trabalho colaborativo entre os alunos, visando à consecução de objetivos comuns (Bonfim; Guimarães, 2015).

Dentro dessa temática, as práticas com experimentos didáticos se apresentam como uma alternativa didática eficaz para apoiar o ensino de física na educação básica, muitas vezes negligenciado devido à falta de infraestrutura nas escolas. Araújo e Abib (2003, p. 176) destacam que atividades experimentais como estratégia de ensino de física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar física de modo significativo e consistente.

Assim, torna-se fundamental que a escola disponibilize as condições mínimas necessárias para que o professor possa implementar práticas experimentais, promovendo uma aprendizagem mais significativa para os alunos.

Um grande desafio, mesmo na construção de experimentos de baixo custo, é a utilização de sensores para a obtenção de dados experimentais, que geralmente são caros ou de difícil manuseio. Nesse contexto, uma alternativa viável é o uso da vídeo-análise, que permite reduzir custos e simplificar o desenvolvimento de experimentos em sala de aula.

O presente trabalho tem como objetivo geral comparar resultados obtidos em experimentos de queda livre e pêndulo simples utilizando os próprios sensores dos kits experimentais com a vídeo-análise realizada pelo Tracker, de modo a avaliar a confiabilidade e o potencial pedagógico do software no contexto da educação básica.

Este trabalho está organizado em 5 capítulos divididos da seguinte forma:

No 1 capítulo consta a introdução do trabalho, nele é apresentado um breve resumo das barreiras presentes no ensino de física e o objetivo deste trabalho.

No capítulo 2, inicia-se com uma discussão sobre as teorias significativas de Ausubel, seguida da análise do cenário da física experimental na educação. Em

seguida, aborda-se o uso de softwares educacionais como ferramentas alternativas de ensino. Por fim, apresenta-se o software Tracker e suas principais especificações.

No capítulo 3, será apresentada a descrição física que rege os experimentos abordados e a metodologia que foi utilizada neste trabalho.

No capítulo 4, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos por meio da vídeo-análise, comparando-os com aqueles obtidos com os equipamentos dos kits experimentais.

No capítulo 5, será apresentada as considerações finais deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo abordaremos aspectos fundamentais da teoria da aprendizagem significativa, além disso, também discutiremos os desafios enfrentados pelo ensino de física ao longo dos anos.

2.1 Fundamentos teóricos da aprendizagem significativa

Ao longo das últimas décadas, diversas teorias foram formuladas com o intuito de compreender os processos de aprendizagem. Entre elas, destaca-se a proposta de David Ausubel (1960), que desenvolveu a Teoria da Aprendizagem Significativa em contraposição ao modelo comportamentalista de Skinner. Para Ausubel, a aprendizagem significativa ocorre quando novos conteúdos se relacionam de forma não arbitrária com conhecimentos prévios do estudante, promovendo modificações em sua estrutura cognitiva (Moreira, 1999).

Já para Vygotsky, o meio pelo qual o indivíduo obtém informação, habilidades e valores provém do contato com o meio social, sendo de caráter independente de dois atores, sendo eles aquele que aprende e aquele que ensina, diferentemente dos fatores inatos, que é uma característica que já nasce com o indivíduo independentemente da sua relação com o meio. (Oliveira, 2010, p.59)

A aprendizagem é considerada significativa, quando o estudante é capaz de dar um novo sentido à informação adquirida e, além disso, ser capaz de relacionar com o conhecimento pré-existente. Portanto, quando essa correlação não é atingida, o conhecimento é dito mecânico.

A passagem da aprendizagem mecânica para a aprendizagem significativa não é natural, ou automática; é uma ilusão pensar que o aluno pode inicialmente aprender de forma mecânica, pois, ao final do processo, a aprendizagem acabará sendo significativa; isto pode ocorrer, mas depende da existência de subsunçores adequados, da predisposição do aluno para aprender, de materiais potencialmente significativos e da medição do professor; na prática, tais condições muitas vezes não são satisfeitas e o que predomina é a aprendizagem mecânica (Moreira, 2011, p.32).

Para Ausubel, a ideia por trás dos subsunçores está diretamente relacionada com a maneira de como podemos entender o conhecimento prévio. Pois ele o define como uma estrutura de conhecimentos específicos já pré-estabelecidos na estrutura

cognitiva do aprendiz. Que é originária das estruturas sensoriais dos indivíduos, além disso, são organizados de forma hierárquica podendo sofrer transformações com o decorrer do tempo, se tornando estáveis, diferenciados e ricos em significados.

No processo de consolidação da aprendizagem significativa, o indivíduo deve ser peça ativa em todo o processo pedagógico. É por meio da participação ativa que o indivíduo se sentirá integrado, pois dessa maneira o conhecimento desenvolvido ao longo do processo de aprendizagem vai se estabelecendo.

Para Ausubel, todo o conhecimento é organizado de forma hierárquica, de modo que esse conhecimento só é significativo se for possível a sua correlação com os conhecimentos anteriores.

O conhecimento é significativo por definição. É o produto significativo de um processo psicológico cognitivo (“saber”) que envolve a interação entre ideias “logicamente” (culturalmente) significativas, ideias anteriores (“ancoradas”) relevantes da estrutura cognitiva particular do aprendiz (ou estrutura dos conhecimentos destes) e o “mecanismo” mental do mesmo para aprender de forma significativa ou para adquirir e reter conhecimentos.
(Ausubel, 2003)

Partindo desse ponto, as teorias da aprendizagem ajudam os professores a planejarem as suas aulas, proporcionando ferramentas pedagógicas que contribuam com a aprendizagem significativa dos estudantes.

Um outro ponto importante que não podemos deixar de ressaltar é a contribuição da física experimental no processo da aprendizagem significativa, uma vez que o experimento parece proporcionar um rompimento de paradigmas pré-estabelecidos pelo ensino tradicional. A prática experimental bem pensada possibilita não só uma maior interação por parte dos alunos, mas provoca também maiores questionamentos que conseqüentemente promovem uma maior compreensão da natureza. A interferência mínima do professor nesse processo, torna os estudantes agentes ativos da verdadeira aprendizagem significativa.

A prática de atividades experimentais (...) em sala de aula propondo execução, aplicação e elaboração de conteúdos científicos ampliam no universo educacional dos alunos uma construção de saberes e questionamentos, favorecendo uma aprendizagem significativamente e ativa frente ao seu ensino-aprendizagem (Mota e Cavalcanti, pag. 5.2012)

A prática experimental é uma ótima ferramenta pedagógica que deveria ser mais explorada no âmbito educacional, porém tal prática além de exigir muita organização por parte do docente, exige também pleno domínio teórico da prática experimental sendo ela de qualquer natureza, bem como o domínio operacional de suas funcionalidades básicas para que sua execução seja clara e objetiva.

Com o constante avanço tecnológico, e alunos cada vez mais conectados, o professor deve explorar sempre mais o uso das atividades experimentais, que podem ser realizadas através de kits, com materiais de baixo custo ou até mesmo através de experimentos virtuais. As simulações computacionais são um grande exemplo de materiais potencialmente significativos, pois estão ao alcance de professores e alunos, além de propiciar que os discentes sejam sujeitos ativos da aprendizagem (Moro; Neide; Rehfeldt, 2016).

As práticas experimentais podem ser utilizadas em qualquer área do conhecimento para promover a aprendizagem significativa, pois possibilita inúmeras maneiras de aprender. O trabalho de Santos. (2016), intitulado **A importância do uso de experimentos no ensino de ciências**, aborda as mudanças sofridas no ensino de ciências ao longo do tempo, assim como a implementação da prática experimental nas aulas de ciências contribuíram com um aprendizado mais significativo por parte dos alunos.

Quando o ensino de ciências é desenvolvido utilizando-se de atividades experimentais possibilita ao aluno uma aprendizagem mais significativa, na medida em que permite aos mesmos uma participação ativa aula e a elaborarem ideias e questionamentos relacionados com o seu dia-a-dia, (Damota e Cavalcanti, pag. 9, 2012)

As práticas experimentais realizadas em sala de aula despertam a curiosidade dos alunos, pois permitem a eles a visualização dos fenômenos físicos ampliando a sua compreensão, assim como, permitem aos estudantes a capacidade de relacionar tais fenômenos observados em sala com o seu dia a dia.

2.2 O ensino de física experimental na educação básica

Para Moreira (2021), a física experimental está diretamente relacionada à física teórica; essa complementaridade é essencial no que se refere à aprendizagem

significativa. Porém, não é dessa maneira que ocorre no dia a dia, pois, em muitos casos, não ocorre essa complementação, e o ensino recai novamente em um modelo tradicional, onde o professor despeja as informações no quadro e os alunos apenas anotam em seus cadernos. Um dos argumentos utilizados para justificar o ensino tradicional, sem a execução de práticas experimentais, é a ausência de laboratórios modernos, com equipamentos em boas condições de uso.

Apesar disso, estudos realizados mostram que a falta de experimentação nas aulas de física não está relacionada somente à falta de instrumentos ou à ausência de um espaço adequado. Mas a má formação de professores que não foram estimulados à prática experimental durante a sua formação, que, por ventura, acaba gerando insegurança na aplicação da mesma. O artigo de Borges e Rocha. (2012), de título **Análises e reflexões sobre a formação docente e o ensino de Física experimental no Rio Grande do Norte**, traz uma reflexão sobre essa realidade.

As limitações na formação acadêmica do professor em relação ao saber experimental são fatores que contribuem para a ausência ou realização não sistemática de experimentação na realidade escolar do ensino de Física nos níveis Fundamentais e Médio. Para estes autores a formação continuada tem, assim, um importante papel por possibilitar aos professores o conhecimento de novas metodologias aplicáveis ao ensino experimental de Física. (citado por Pena e Filho, pag. 8, 2009)

Portanto, podemos ressaltar a importância da formação continuada para os professores, tendo como seu principal foco o aprendizado de novas técnicas e metodologias educacionais que visam superar não só a má formação, mas também os problemas relacionados à falta de estrutura escolar.

Ainda para Moreira, uma das alternativas que podem ser utilizadas pelos professores para reverter essa problemática consiste no uso de laboratórios virtuais, visto que, na atualidade, muitos estudantes têm cada vez mais acesso a celulares e computadores. Partindo desse ponto de vista, os alunos podem ser expostos a experimentos científicos, ainda que de forma virtual, que permitam a eles modificar as grandezas físicas dos fenômenos observados e visualizar o que acontece. Além disso, os estudantes também podem desenvolver modelos computacionais para estudar um determinado fenômeno físico.

A implementação gradual da experimentação no ensino básico ou superior promove uma grande mudança na maneira como os estudantes passam a enxergar a

natureza, pois agora eles conseguem relacionar a teoria com a prática. Além disso, um outro ponto de contribuição da prática experimental na formação dos estudantes está no fato de o professor não ser mais o principal agente do saber, pois os alunos passam a ser os principais protagonistas da aprendizagem, movidos não só pela curiosidade, mas também pelos princípios que regem o conhecimento científico.

A abordagem investigativa deve promover o protagonismo dos estudantes na aprendizagem e na aplicação de processos, práticos e procedimentos, a partir dos quais o conhecimento científico e tecnológico é produzido. Nessa etapa da escolarização, ela deve ser desencadeada a partir de desafios e problemas abertos e contextualizados, para estimular a curiosidade e a criatividade na elaboração de procedimentos e na busca de soluções de natureza teórica e/ou experimental (Brasil, 2018, p, 551)

Em virtude disso, os professores se veem obrigados a buscarem alternativas pedagógicas com o intuito de tornar a sua aula mais atrativa para os alunos, seja por meio da implementação de recursos tecnológicos ou através de experimentos de baixo custo que promovam uma maior interação entre professores e alunos na construção do conhecimento, fazendo com que os alunos se tornem agentes principais na construção da aprendizagem.

Ao longo do tempo, a implementação do experimento nas aulas de física tem se mostrado uma metodologia bastante interessante, pois tem a capacidade de proporcionar a visualização dos fenômenos físicos que estão sendo trabalhados pelo docente, gerando um maior despertar nos alunos.

É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e níveis. É dessa forma que se pode garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desvendando sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável (Brasil, 2002, p, 37)

É importante que o docente, durante a realização de um experimento, adote uma postura questionadora, pois somente a prática experimental não é capaz de promover a concretização do saber. É preciso construir meios para que os alunos consigam relacionar os fenômenos observados em sala com o seu dia a dia para adquirir significado.

2.3 O uso de Software educacionais como ferramentas de ensino de Física

Em decorrência do constante avanço tecnológico e da informática, a humanidade vem passando por inúmeras transformações que afetam de forma direta a vida de todas as pessoas. Esses avanços têm proporcionado uma nova forma de interação entre os indivíduos e o meio que o cerca, ressignificando suas práticas.

A informática com a sua grande capacidade de aplicação, é de fundamental importância para uma sociedade movida pelo pleno desenvolvimento tecnológico. O conceito de software na computação é um dos mais importantes, que pode ser definido como:

Um conjunto de instruções que, quando executadas, produzem a função e o desempenho desejado, estruturas de dados que permitam que as informações relativas ao problema a resolver sejam manipuladas adequadamente e a documentação necessária para um melhor entendimento da sua operação e uso. (Mazolla, 2020, p.3)

Portanto, um software se assemelha a um bloco de instruções que são executadas pelo computador, sendo necessário o fornecimento de informações para que seja processada uma saída.

Desde o seu surgimento até os dias atuais o computador vem ganhando cada vez mais protagonismo no cenário educacional, sendo visto como um meio facilitador entre o aluno e o conhecimento que podem ser abordados de formas diferentes. O uso dessa ferramenta no ambiente escolar permite uma maior dinâmica sem que haja perda significativa do objetivo estabelecido para a aula, segundo Valente (1993):

Para a implantação dos recursos tecnológicos de forma eficaz na educação são necessários quatro ingredientes básicos: o computador, o software educativo, o professor capacitado para usar o computador como meio educacional e o aluno. O computador não é mais o instrumento que ensina o aprendiz, mas a ferramenta com a qual o aluno desenvolve algo, e, portanto, o aprendizado ocorre pelo fato de estar executando uma tarefa por intermédio do computador. (Valente, 1993, p.13)

Logo, a implementação do software na sala de aula requer muito mais que o conhecimento computacional, é necessário que o professor esteja familiarizado com as práticas pedagógicas adequadas, pois o processo de construção do conhecimento é regido por um conjunto de fatores que vai além das ferramentas tecnológicas.

2.4 A vídeo-análise como recurso didático

Desde o surgimento dos computadores e com o seu constante avanço tecnológico, esse instrumento tem nos permitido cada vez mais realizar uma vasta gama de tarefas, sendo uma delas a aquisição de dados em laboratórios didáticos, uma prática exploratória que vem se tornando cada vez mais comum em nosso dia a dia (Veit, 2005; Cavalcante et al., 2008; Cavalcante et al., 2009). Levando-se em consideração esse cenário, a vídeo-análise se mostra uma ferramenta com grande potencial (Barbeta; Yamamoto, 2002; Brown, 2011; Cox, 2009; Bryn, 2010; Catelli et al., 2009), tendo em vista nos dias atuais, ao alto grau de acesso a dispositivos digitais que apresentam recursos de vídeo, que possibilita o registro de fenômenos físicos por meio de filmagens que podem ser utilizadas em aulas de laboratório na disciplina de física.

Apesar de existir outros aplicativos que também nos permitiria estudar fenômenos físicos através de vídeo como o VidAnalysis e o Vernier Video Analysis, neste trabalho utilizamos como alternativa de vídeo-análise, o software Tracker (Brown, 2011) tem se mostrado uma ótima possibilidade, pois traz consigo resultados promissores e boas perspectivas (Brown; Cox, 2009; Oliveira et al., 2011). O Tracker nos traz simplificação nos procedimentos, não necessitando de tarefas intermediárias.

Cumprе destacar que, o software também permite a integração automática de grandezas como a posição e o tempo, visto que, o próprio usuário pode informar ao software a quantidade de taxas de quadros por segundo do dispositivo utilizado na gravação, o que nos dá a oportunidade de realizar análises de maneira simples e rápida. Por esse motivo, a implementação do Tracker nas aulas de física se mostram oportunas, pois se adequa ao espaço e ao tempo. É um software livre que pode ser baixado gratuitamente na internet, e que possibilita a vídeo-análise de formatos diversificados de vídeos.

2.5 O software Tracker e a aplicação da vídeo-análise no ensino de Física

O Tracker é um software livre, de código aberto, utilizado para fazer a análise de vídeos direcionados ao ensino de física. Este software foi desenvolvido pelo projeto Open Source Physics (OPS) que é constituído por físicos e educadores.

Este software educacional nos permite a análise de vídeos, não sendo necessário o uso de grandes aparatos tecnológicos. Através dele podemos coletar um grande volume de dados, que nos permite uma análise mais precisa e com uma margem de erro muito pequena. Nós podemos extrair muitas informações relacionadas aos problemas físicos, ou seja, através de um vídeo nós podemos rastrear um objeto, bem como extrair informações relacionadas a posição, a velocidade e aceleração. O Tracker pode ser utilizado tanto na educação básica quanto no ensino superior, aprofundando os conceitos físicos.

O Tracker é baseado na plataforma Java, que, através dela, permite o desenvolvimento de uma máquina virtual própria, que possibilita a execução dos programas computacionais em qualquer sistema operacional. Por ser de código aberto, o Tracker está em constante melhoramento, uma vez que os próprios usuários podem melhorar o software introduzindo novas funcionalidades e corrigindo erros.

O Tracker pode ser baixado de forma gratuita no site <https://physlets.org/tracker/> e está disponível em vários idiomas, além disso, o usuário conta com fórum de discussão e tutoriais de como realizar as análises. No site o usuário também encontrará vídeos demonstrativos de experimentos que podem ser realizados e analisados com o software tracker.

Diversos estudos relatam resultados positivos da utilização do Tracker em sala de aula. Gordiano (2019) demonstrou a determinação da constante elástica de uma mola a partir da relação entre distensão e massa, evidenciando a viabilidade da ferramenta para experimentos de dinâmica

Figura 1: Relação entre distensão da mola e massa.

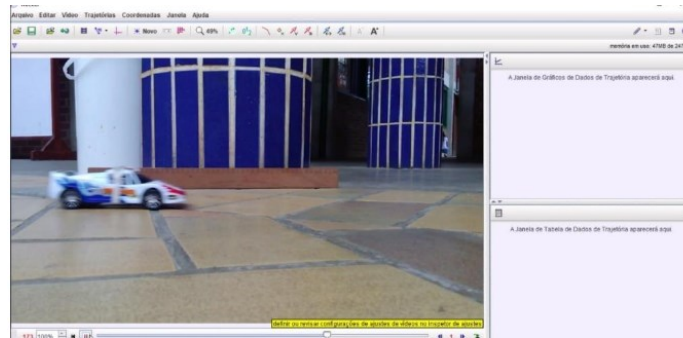
Massa Presa a Mola (Kg)		Distensão x da Mola (m)		
		Medida 1	Medida 2	Medida 3
m1	0,052	0,234	0,235	0,230
m2	0,105	0,513	0,508	0,502
m3	0,157	0,782	0,778	0,770
m4	0,206	1,045	1,030	1,017

Fonte: Gordiano, 2019.

E com os resultados da tabela acima, determinou-se a força aplicada em cada uma das situações considerando a aceleração gravitacional $9,8 \text{ m/s}^2$ e aplicando-se a lei de Hooke, determinou-se o valor da constante elástica da mola K .

Já no segundo experimento, analisou-se o movimento de um carrinho movido à pilha.

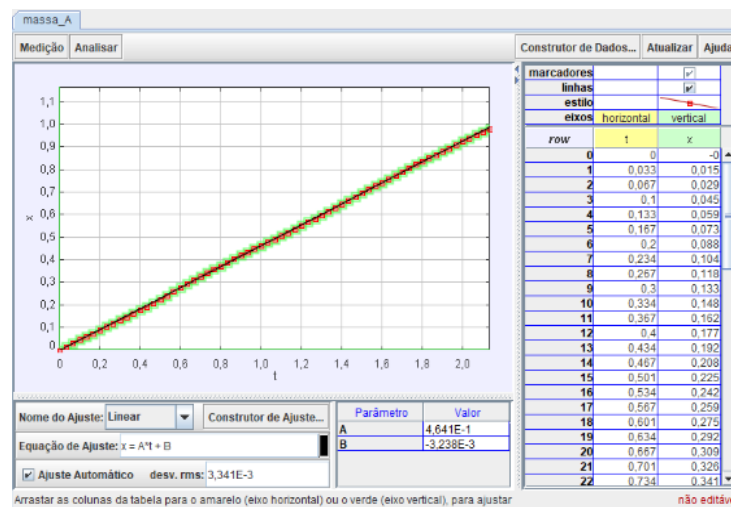
Figura 2: Movimento do carrinho de pilha.



Fonte: Gordiano, 2019.

Onde através da vídeo-análise podemos extrair o gráfico da posição em função do tempo do movimento desenvolvido pelo carrinho.

Figura 3: Posição em função do tempo.



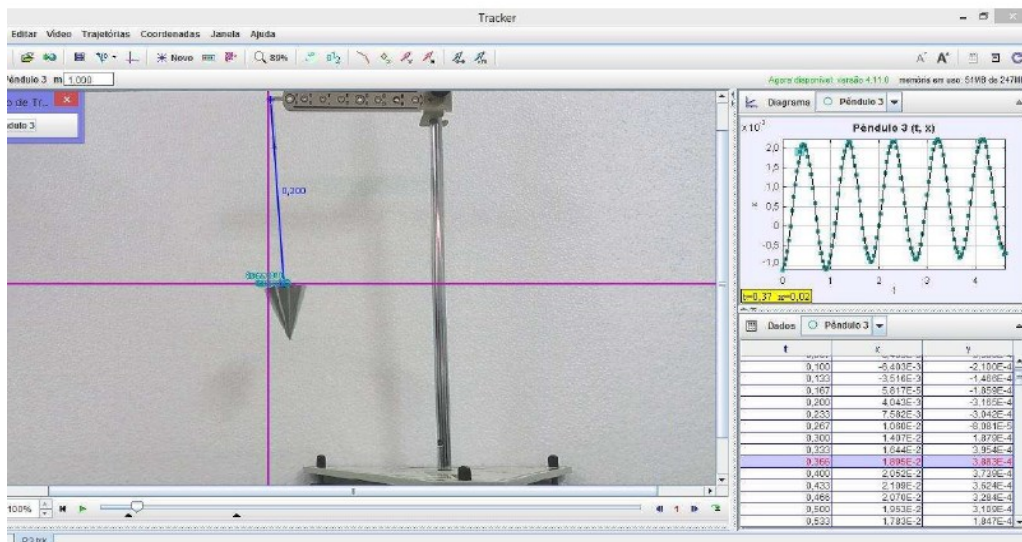
Fonte: Gordiano, 2019.

Na Figura 3 podemos observar que o software nos fornece os parâmetros de ajuste da reta $X = A*t + B$, sendo o valor de $A = 0,46$ e $B = -0,0032$. Uma outra observação que podemos realizar, é constatar que a distância varia linearmente com o tempo, o que nos permite concluir que se trata de um movimento uniforme. Além disso, podemos também fazer uma correlação entre a equação de ajuste da reta com a equação horária do movimento uniforme, onde podemos nitidamente notar que a velocidade v do carrinho é $0,464$ m/s e a posição inicial S_0 é $0,0032$ m.

De forma semelhante, Junior (2017) aplicou o Tracker na análise do movimento harmônico simples em um pêndulo, comparando os resultados obtidos com os de kits experimentais. A proximidade entre os valores medidos reforça o potencial do software como substituto ou complemento a experimentos tradicionais.

Na figura abaixo podemos observar o processo de obtenção dos dados que foram adquiridos por meio do Tracker, levando em consideração três medidas diferentes para o barbante.

Figura 4: Tracker em processo de obtenção de dados.



Fonte: Paulo, 2017.

E por fim, foi registrado numa tabela os valores do comprimento do barbante, do período e da aceleração gravitacional obtidos utilizando-se tanto o Tracker quanto o kit experimental.

Figura 5: Valores de L, T e g correspondente ao experimento e o Tracker.

	Experimento				Tracker		
	1	2	3		1	2	3
L (m)	0,295	0,255	0,20	L (m)	0,295	0,255	0,20
T (s)	1,10	1,02	0,91	T (s)	1,099	1,033	0,90
g (m/s²)	9,617	9,66	9,526	g (m/s²)	9,637	9,48	9,73

Fonte: Paulo, 2017.

Nesta tabela podemos constatar que o resultado adquirido da aceleração gravitacional obtido através da vídeo-análise, se comparado a um kit experimental, se mostra dentro do valor esperado adotado nos cursos de física, que é de 9,8 m/s².

Uma outra observação que este resultado nos permite realizar, é que extraíndo a média das acelerações, sendo de 9,601 m/s² para um kit experimental e 9,615 m/s² para o Tracker, e comparando esse resultado com o valor teórico presente nos livros didáticos, notamos uma diferença de 2,03% para um kit e 1,94% para o Tracker.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Neste capítulo será abordado a descrição teórica que regem os experimentos da queda livre dos corpos, pêndulo simples e da metodologia deste trabalho.

3.1 Experimento da Queda Livre

A gravidade é uma das forças fundamentais da natureza e atua sobre todos os corpos que possuem massa. É essa força que faz os corpos caírem em direção ao solo e mantém os planetas em órbita. Trata-se de uma força de atração mútua entre corpos que possuem massa, o que, conseqüentemente acaba gerando um campo gravitacional. A intensidade desse campo está intimamente relacionada com a massa dos objetos, e sua ação sobre outros corpos resulta em uma aceleração, denominada aceleração gravitacional.

Uma das primeiras ideias acerca da aceleração gravitacional surgiu com Aristóteles no (século IV a.C), onde ele partia do princípio de que quanto maior a massa de um objeto, mais rápido chegaria ao solo. Porém, tal afirmação se mostrou errada.

Foi Galileu Galilei (1564 - 1642) que decidiu pôr à prova por meio de um experimento de cunho quantitativo se a afirmação feita por Aristóteles era verdadeira.

Aristóteles diz que “uma bola de ferro de cem libras, caindo de cem cúbitos de altura, atinge o solo antes que uma bala de uma libra caído de um só cúbito”. Eu digo que chegam ao mesmo tempo. Fazendo a experiência, você verifica que a maior precede a menor por dois dedos, ou seja, quando a maior chegar ao solo, a outra está a dois dedos de altura; você não pode querer esconder nesses dois dedos os noventa e nove cúbitos de Aristóteles (Nussenzveig, p. 56, 2017)

Logo, Galileu concluiu que o movimento uniformemente acelerado pode ser definido como aquele em que ocorre iguais variações de velocidade para um mesmo intervalo de tempo. Além disso, Galileu construiu um aparato experimental utilizando o plano inclinado, onde ao substituir as medidas das velocidades em função do tempo, mostrou que a distância aumenta com o quadrado do tempo.

Foi tomada uma prancha de madeira, de cerca de 12 cúbitos de comprimento, meio cúbito de largura e três dedos de espessura; na

beira dela, foi escavada uma canaleta de pouco mais de um dedo de largura; tendo feito uma canaleta bem reta, lisa e polida, tendo-a forrado com pergaminho, também tão liso e polido como possível, fizemos rolar ao longo dela uma bola de bronze dura, lisa e bem redonda. Tendo colocado a prancha numa posição inclinada, elevando uma extremidade um ou dois cúbitos acima da outra, rolando a bola, como estava dizendo, ao longo canaleta, anotando, de forma que vamos descrever, o tempo necessário para a descida. [...]”Tendo executado esta operação e tendo-nos assegurado de que resultado merecia confiança, fizemos rolar a bola de apenas $\frac{1}{4}$ do comprimento da canaleta; e tendo medido o tempo de descida, encontramos precisamente a metade do tempo anterior. Tentamos a seguir outras distâncias, comparando o tempo para o comprimento total com aquele para metade, ou $\frac{2}{3}$, ou $\frac{3}{4}$, ou qualquer outra função; em tais experiências, repetidas cem vezes, sempre encontramos que os espaços percorridos estavam entre si como os quadrados dos tempos, e que isto valia para qualquer inclinação do plano, ou seja, da canaleta, ao longo do qual fazíamos rolar a bola[...]. (Nussenzvelg, p. 57, 2017)

Desprezando a resistência do ar no movimento de queda livre de um corpo abandonado, a aceleração é a mesma para qualquer corpo, sendo definido o valor da aceleração gravitacional próximo à superfície da Terra como sendo de aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$.

Equações do movimento de um corpo em queda livre

Um movimento é denominado retilíneo uniformemente acelerado, quando a aceleração instantânea é constante em todo o intervalo de tempo analisado, ou seja:

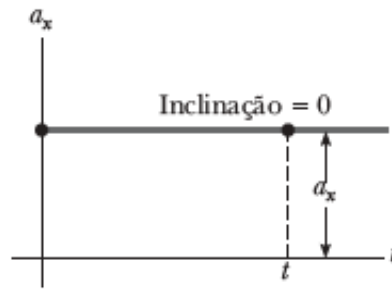
$$\frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = a = \textit{constante} \quad (1)$$

Se levarmos em consideração o movimento durante um intervalo de tempo de $[t_0, t]$, onde t_0 corresponde o tempo inicial, temos que:

$$v(t) - v(t_0) = \int_{t_0}^t a \, dt = a(t - t_0) \quad (2)$$

A equação (2) corresponde a área da figura, como podemos observar na imagem abaixo.

Figura 6: Aceleração em função do tempo.



Fonte: Serway, 2014.

Considerando $v(t_0) = v_{(0)}$ e consequentemente definindo como velocidade inicial. Logo, a partir da equação (2) obtemos a equação (3), onde podemos observar que a velocidade corresponde a uma função linear do tempo no movimento retilíneo uniformemente acelerado.

$$v = v_0 + a(t - t_0) \quad (3)$$

Feito isso, iremos demonstrar as demais equações do movimento retilíneo uniformemente acelerado. Aplicando a regra da cadeia na equação (1) obtemos a equação (4), ou seja:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} \quad (4)$$

A velocidade em um determinado instante de tempo é dada a partir da velocidade média, fazendo-se o intervalo de tempo Δt tender a 0.

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad (5)$$

Agora, substituindo a equação (5) na equação (4), obtemos:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = \frac{dv}{dx} v \quad (6)$$

Reescrevendo a equação (6), temos:

$$a \, dx = v \, dv \quad (7)$$

Integrando ambos os lados da equação nos limites x_0 e x e v_0 e v , temos:

$$\int_{x_0}^x a \, dx = \int_{v_0}^v v \, dv \quad (8)$$

Como a aceleração é constante, podemos por para fora da integral, de modo que podemos reescrever a equação (8) da seguinte maneira:

$$a \int_{x_0}^x dx = \int_{v_0}^v v \, dv \quad (9)$$

Resolvendo ambos os lados da integral na equação (9), obtemos a equação da velocidade em função da posição no movimento retilíneo uniformemente acelerado.

$$a(x - x_0) = \frac{v^2}{2} - \frac{v_0^2}{2} = \frac{1}{2}(v^2 - v_0^2) \quad (10)$$

Multiplicando ambos os lados da equação (10) por 2, temos:

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \quad (11)$$

Isolando v^2 na equação (11), temos:

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0) \quad (12)$$

Para que possamos determinar a equação da posição em função do tempo no movimento retilíneo uniformemente acelerado, vamos elevar a equação (3) ao quadrado.

$$[v = v_0 + a(t - t_0)]^2 \quad (13)$$

Reescrevendo a equação (13), temos:

$$v^2 = v_0^2 + 2v_0a(t - t_0) + a^2(t - t_0)^2 \quad (14)$$

Agora podemos substituir a equação (14) na equação (12), pois dessa forma iremos determinar a função horária da posição em função do tempo.

$$v_0^2 + 2v_0a(t - t_0) + a^2(t - t_0)^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0) \quad (15)$$

Reescrevendo a equação (15), temos:

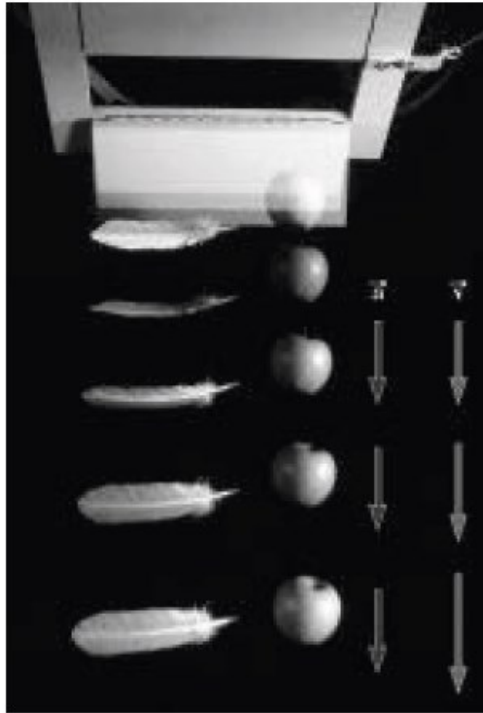
$$v_0(t - t_0) + \frac{a(t-t_0)^2}{2} = (x - x_0) \quad (16)$$

$$x - x_0 = v_0(t - t_0) + \frac{a}{2}(t - t_0)^2 \quad (17)$$

$$x = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2 \quad (18)$$

O movimento de queda que ocorre nas proximidades da superfície da terra sujeito apenas à ação da gravidade, ou seja, sem influência da resistência do ar ou de qualquer outra força externa, é denominado de queda livre dos corpos, que tem como característica a aceleração constante. Logo, as equações desenvolvidas anteriormente são aplicáveis nesse tipo de problema, um outro fator que merece destaque, é que esse tipo de movimento descreve exclusivamente uma trajetória vertical, e além disso, desconsideramos os efeitos da resistência do ar.

Figura 7: Queda livre.



Fonte: Serway, 2011.

É comum também considerar no sistema de coordenadas cartesianas, eixo y como o eixo de movimento, sendo \hat{j} o seu vetor unitário.

$$\vec{a} = -g\hat{j} \quad (19)$$

Logo, podemos reescrever as equações (3), (12) e (18) fazendo a substituição $a = -g$ e mudando a coordenada x por y .

$$v_y = v_{0y} - gt \quad (20)$$

$$v_y^2 = v_{0y}^2 - 2g(y - y_0) \quad (21)$$

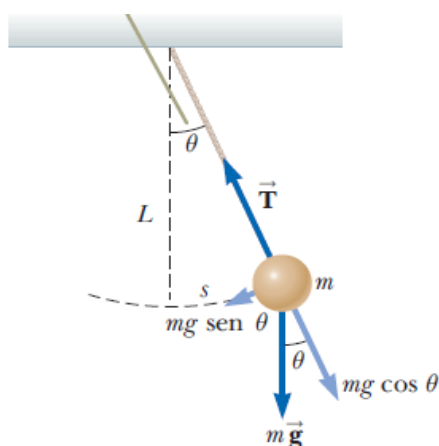
$$y = y_0 + v_{0y}(t - t_0) - \frac{1}{2}g(t)^2 \quad (22)$$

3.2 Experimento do Pêndulo Simples

O movimento periódico, é uma das características que se pode observar em muitos fenômenos na natureza. A vibração da corda de um instrumento musical, as oscilações produzidas pelos pistões do motor de um automóvel e as radiações eletromagnéticas são alguns dos exemplos dentre vários, que apresentam um comportamento periódico. Apesar dessas oscilações se distinguirem entre si, a abordagem matemática utilizada para descrevê-las é bastante parecida. O pêndulo simples é um sistema que é muito usado para estudar os movimentos oscilatórios.

O pêndulo simples é um sistema mecânico que apresenta um objeto de massa m desprezível, suspensa por um fio inextensível de comprimento l .

Figura 8: Pêndulo simples.



Fonte: Serway, 2011.

O movimento ocorre num plano vertical, sob a ação da força gravitacional. As forças que estão atuando sobre o objeto preso é \vec{T} exercida pelo fio e a gravidade $m\vec{g}$. A componente tangencial da força gravitacional $mg\text{sen}\theta$ atua no sentido de $\theta = 0$, que é oposta ao deslocamento a partir da posição de equilíbrio. Logo, a força restauradora do sistema é a componente tangencial.

Dessa forma, aplicando a segunda lei de Newton:

$$F_t = ma_t \quad (23)$$

Substituindo a componente tangencial da força na equação (23), temos:

$$-mgsen\theta = m \frac{d^2s}{dt^2} \quad (24)$$

O sinal negativo indica o sentido contrário de atuação da força tangencial em relação à posição de equilíbrio. Além disso, a aceleração tangencial foi representada como a derivada segunda da posição s .

Como o ângulo θ é medido em radianos, temos que:

$$s = L\theta \quad (25)$$

Logo, reescrevendo a equação (24) para ângulos pequenos, temos:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{L}sen\theta \quad (26)$$

Uma conclusão que a equação (26) nos permite observar, é que para pequenas oscilações o movimento se torna semelhante ao movimento harmônico simples.

A frequência angular para o pêndulo simples é dada pela seguinte equação:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (27)$$

Já o período, é obtido pela seguinte equação:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (28)$$

Tanto o período quanto a frequência dependem somente do comprimento do fio no pêndulo simples e da aceleração gravitacional. Além disso, como o período não

depende da massa, podemos concluir que, para o pêndulo simples que possui o mesmo comprimento do fio e que esteja numa mesma localização, possuem o mesmo período de oscilação.

3.3 Teoria de erros

Toda ciência experimental tem como foco principal a determinação numérica de uma grandeza, mas a determinação numérica, por si só, não é o suficiente. É necessário atribuir a toda medida uma ideia de confiabilidade.

Um dos pontos que não se podem passar despercebidos quando se trata da determinação de grandezas experimentais, é a de que, por mais sofisticado que venha a ser um aparato experimental, é associado a ele um erro, que pode ser classificados de três maneiras, sendo eles:

- Erro de escala - que é o erro que está relacionado ao manuseio realizado pelo operador.
- Erro sistemático - é um erro de caráter repetitivo e que sempre ocorre da mesma maneira, uma vez descoberto, é passível de ser eliminado.
- Erro aleatório - que está atribuído às perturbações que ocorrem de forma indevida, sendo dessa forma, difíceis de evitá-los.

Como podemos perceber acima, o erro sistemático uma vez descoberto pode ser eliminado, o mesmo não ocorre com o erro de natureza aleatória devido a fatores de imprevisibilidade. Porém, sua análise pode ser realizada por meio de técnicas estatísticas, como por exemplo:

O valor mais provável de uma grandeza que está diretamente ligada a média aritmética de um grande número de medidas, cuja sua representação matemática é \bar{X} .

$$\bar{X} = \frac{(X_1 + X_2 + \dots + X_n)}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (32)$$

Sendo n o número de medidas realizadas.

Uma característica do erro aleatório, está no fato da impossibilidade de se obter o seu real valor, sendo apenas possível determinar o seu valor aproximado. O cálculo desse erro pode ser realizado tomando como base algumas relações, que são elas:

- Desvio de uma medida
- Desvio padrão
- Desvio padrão da média

3.4 Caracterização da pesquisa

Partindo do ponto de que as diferenças existentes no que diz respeito à pesquisa de caráter qualitativo e quantitativo não está associada ao fenômeno estudado em questão, mas sim de que maneira ele é abordado, logo, é possível observar que este trabalho pode ser classificado como quantitativo, dado à natureza de seu foco.

No campo da pesquisa educacional, a pesquisa quantitativa tem como uma de suas características o estudo de fenômenos por meio de experimentos que podem ser medidos, sendo uma característica das ciências exatas, como por exemplo, a física. Além disso, para Kerlinger (1980, pp. 94 e 95) a sua definição de experimento evidencia claramente as particularidades da pesquisa de natureza quantitativa:

Um experimento é uma pesquisa onde se manipulam uma ou mais variáveis independentes e os sujeitos são designados aleatoriamente a grupos experimentais [...] é um estudo no qual uma ou mais variáveis independentes são manipuladas e no qual a influência de todas ou quase todas as variáveis relevantes possíveis não pertinentes ao problema da investigação é reduzida a um mínimo

Um outro ponto importante que temos que levar em consideração no âmbito da pesquisa quantitativa voltada para o ensino, está na utilização de instrumentos que tragam confiança na obtenção dos dados coletados, tendo em vista que esse é um fator que gera muita preocupação para o pesquisador. Para isso, todo instrumento

utilizado deve trazer consigo duas características latentes que estão associadas à confiabilidade dos valores medidos, sendo elas a fidedignidade e a validade.

A fidedignidade de um instrumento está associada à confiabilidade e à estabilidade dos valores obtidos dele extraído, para Fox (1969, p. 353):

Por fidedignidade entende-se a exatidão dos dados no sentido de sua estabilidade, repetitividade ou precisão. Um instrumento de coleta de dados perfeitamente fidedigno é aquele que se administrado duas vezes nas mesmas circunstâncias forneceria os mesmos dados

Logo, para que possamos investigar a fidedignidade de um determinado instrumento, devemos aplicá-lo várias vezes, levando-se em consideração as mesmas circunstâncias.

Já no que diz respeito à validade, é algo que está relacionado com a capacidade do instrumento medir o que exatamente está sendo proposto.

3.5 Instrumentos e procedimentos de coleta de dados

O primeiro passo para a construção desse trabalho foi realizar uma pesquisa bibliográfica acerca dos experimentos já realizados utilizando-se o software Tracker, para que dessa forma pudéssemos identificar as produções já existentes e, além disso, compreender a metodologia aplicada e os resultados obtidos.

Já em um segundo momento, após analisar produções científicas anteriores, foi definido que para essa pesquisa seria realizado dois experimentos tradicionais no ensino de física com o intuito de determinar a aceleração gravitacional.

Os experimentos que foram realizados nesta pesquisa são:

- Queda livre dos corpos
- Pêndulo simples

Figura 9: Kit queda livre Cidepe.



Fonte: Cidepe,2024.

Figura 10: Kit Pêndulo simples Cidepe.



Fonte: Cidepe,2024.

Os dados para ambos os experimentos foram coletados utilizando-se os kits experimentais que podemos visualizar nas figuras 9 e 10, por meio de um sensor fotoelétrico e um multicronômetro digital como podemos observar nas figuras 11 e 12. Para o experimento da queda livre dos corpos, foram realizadas cinco medições para oito distâncias diferentes, estabelecida na própria régua do kit. Já para o experimento do pêndulo simples, foram coletado os dados para oito comprimentos diferentes para o barbante, sendo que, para cada medida, foram realizadas cinco medições obtendo-se o período corresponde a cada comprimento.

Figura 11: Sensor fotoelétrico.



Fonte: Cidepe, 2024.

Figura 12: Multicronômetro digital.



Fonte: Cidepe, 2024.

Portanto, esse foi o procedimento adotado para a obtenção dos dados utilizando-se os kits experimentais, que nesse caso, correspondem aos da empresa Cidepe.

Em contrapartida, à medida que os experimentos citados acima eram realizados, eles também estavam sendo gravados com um aparelho celular (Iphone), para que dessa forma pudéssemos realizar a análise dos experimentos através do vídeo utilizando o software Tracker.

Figura 13: Iphone 11.



Fonte: Google, 2024.

Após a extração dos dados coletados tanto através dos kits experimentais quanto do software Tracker, foi realizada uma análise comparativa dos dados fazendo-se uso da teoria de erros, pois por meio dela calculamos a média e o desvio padrão dos dados referentes a cada um dos experimentos.

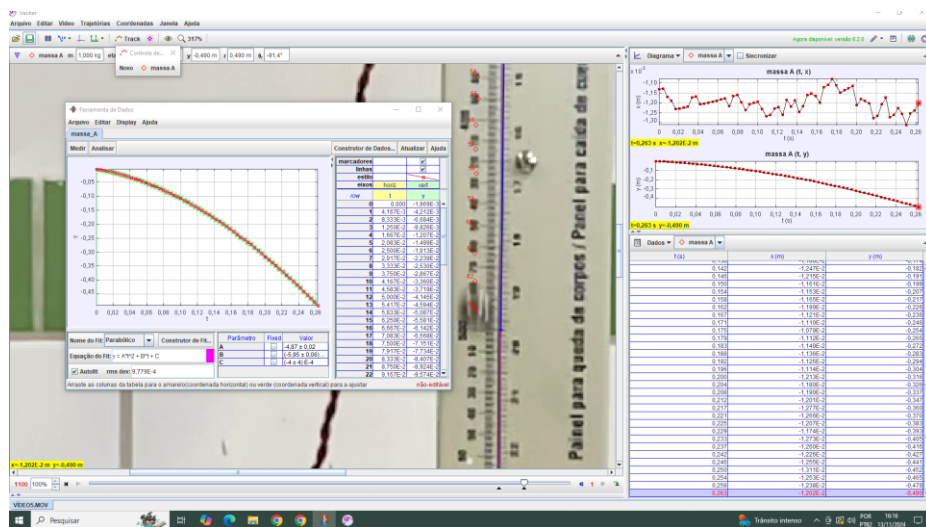
4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos por meio dos experimentos realizados com kits experimentais e pela vídeo-análise utilizando o software Tracker, comparando-os com o valor teórico da aceleração da gravidade ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$) para os experimentos da Queda Livre e do Pêndulo Simples. Além disso, discute-se a precisão de cada método e sua relevância para o ensino de física.

4.1 Queda Livre dos corpos: análise comparativa

Com a finalidade de realizar uma análise comparativa no experimento da queda livre dos corpos, após a coleta dos dados e aplicação da teoria de erros, tanto em relação ao kit experimental quanto à análise realizada com Tracker, como foi descrito no capítulo anterior, foi possível inferir um gráfico, onde através dele podemos observar o valor da aceleração gravitacional obtido por meio do kit experimental, do software Tracker e o valor teórico esperado.

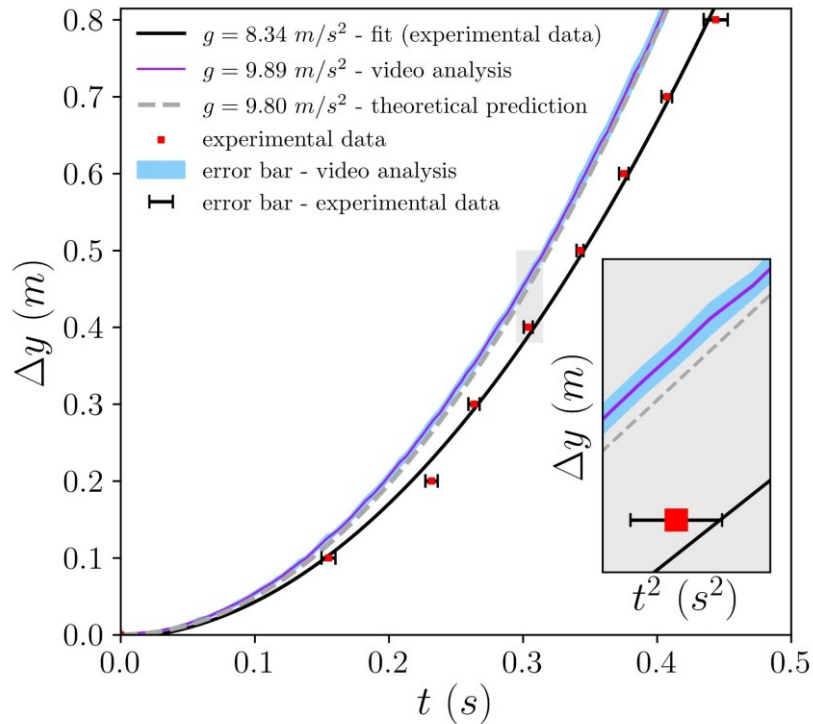
Figura 14: Queda livre, Vídeo-análise.



Fonte: Autor,2024.

Na figura 14, podemos observar a análise do experimento da Queda Livre sendo realizada por meio do software Tracker após a sua gravação.

Figura 15: Posição em função do tempo.



Fonte: Autor, 2024.

Na figura 15, os pontos representados por quadrados vermelhos correspondem aos dados experimentais obtidos pelos sensores da Cidepe. Cada ponto foi determinado a partir da média dos valores de Δy obtidos em cinco repetições do experimento.

O erro associado a cada ponto foi calculado por meio do desvio padrão e representado pelas barras de erro em preto. A curva de cor preta foi obtida por um ajuste polinomial de 2º grau aplicado aos dados experimentais, gerando uma função a qual podemos determinar os parâmetros da Eq. (22).

Para estimar a aceleração gravitacional a partir dos resultados, realizou-se um ajuste linear entre $t^2 (s^2)$ e Δy . Com isso, obteve-se o valor de $g = 8,34 \text{ m/s}^2$. Gostaria de enfatizar também que, os devidos pontos descritos acima foram obtidos através dos dados registrados na tabela abaixo.

Tabela 1: Dados dos sensores da Cidepe para a queda livre.

$\Delta y(m)$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
$t(s)$	0,1698	0,21735	0,26235	0,30115	0,3384	0,3694	0,4005
	0,16565	0,21715	0,26675	0,3025	0,33865	0,37365	0,4006
	0,1655	0,21745	0,26495	0,30135	0,3373	0,3724	0,39925
	0,1636	0,2166	0,26295	0,3134	0,33965	0,37405	0,40185
	0,169	0,21775	0,2642	0,30075	0,3383	0,33185	0,40015
$t\backslash\text{médio}$	0,16671	0,21726	0,26424	0,30383	0,33846	0,36427	0,40047
$DesvPD$	0,002600 576859	0,000427 7849927	0,001735 079249	0,005389 178973	0,000840 6842451	0,018214 71246	0,000937 1499346

Fonte: Autor, 2024.

Já sobre os dados obtidos através do Tracker, a linha de cor roxa representa o valor médio dos dados obtidos pelo Tracker, enquanto a faixa azul indica o intervalo de erro, calculado a partir do desvio padrão dos dados. Cada ponto foi obtido a partir da média de cinco análises de vídeo independentes, realizadas para aumentar a precisão das medições. Para estimar o valor aproximado da aceleração gravitacional, realizou-se um ajuste linear entre $t^2(s^2)$ e Δy , obtendo-se $g = 9,89 m/s^2$. Além disso, assim como no caso dos sensores da Cidepe, o ajuste linear nos dados extraídos do Tracker nos fornece uma função em que os seus parâmetros se assemelham aos da Eq. (22).

Logo, para o experimento da queda livre, estes resultados nos permite concluir que, levando em consideração o valor teórico adotado nos cursos universitários de física e que na figura (15) está representada pela linha tracejada de cor cinza, notamos que o resultado obtido através da vídeo-análise apresentou-se, em comparação com o obtido pelos sensores do kit experimental, um resultado que melhor se aproxima do valor teórico.

Tabela 1: Dados do software Tracker para a queda livre.

Vídeos	V1	V2	V3	V4	V5	$t\backslash\text{médico}$	$DesvPD$
$t(s)$	-1,54E-03	-2,18E-03	-2,17E-03	-2,14E-03	-1,57E-03	-1,92E-03	0,000333 7893048
	-1,30E-03	-2,80E-03	-2,66E-03	-2,14E-03	-2,67E-03	-2,31E-03	0,000623 2509928
	-2,26E-03	-4,05E-03	-4,14E-03	-2,14E-03	-2,12E-03	-2,94E-03	0,001054 499407
	-2,75E-03	-3,12E-03	-4,14E-03	-3,24E-03	-4,71E-04	-2,74E-03	0,001370 257046
	-3,72E-03	-4,67E-03	-5,63E-03	-6,00E-03	-1,02E-03	-4,21E-03	0,001990 351301

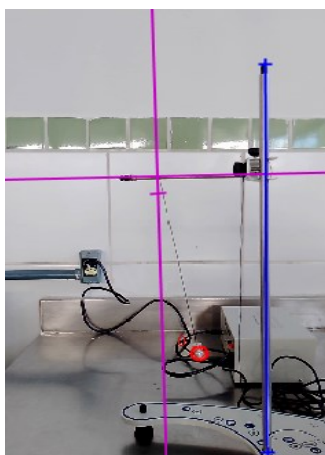
Fonte: Autor, 2024.

Ressalto que, devido ao grande volume de dados coletados pelo software, nesta tabela apenas estão contidos alguns dados a título demonstração.

4.2 Pêndulo Simples: análise comparativa

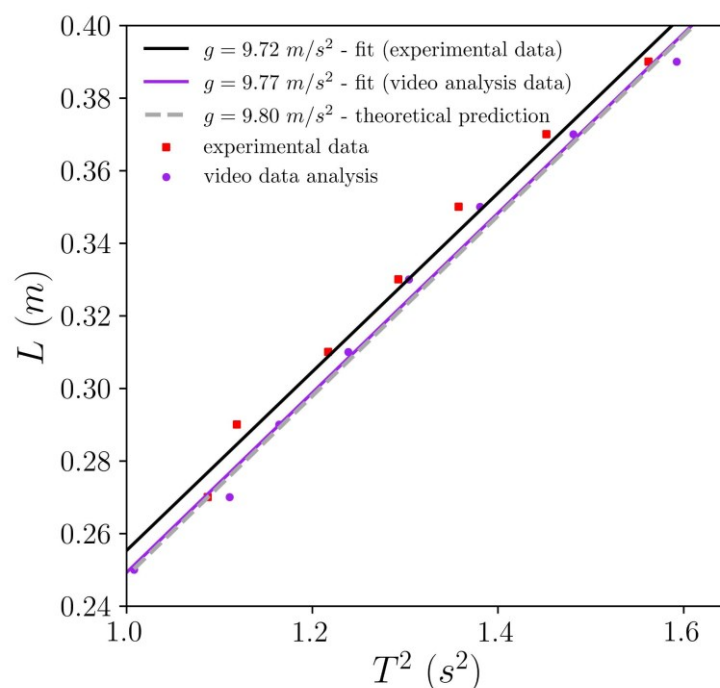
Assim como no experimento da queda livre, no pêndulo simples também realizamos o experimento utilizando o Tracker para comparar o resultado obtido com os do sensores utilizado no kit experimental. A figura 16 representa a análise do experimento do Pêndulo Simples através do Tracker após a sua gravação.

Figura 16: Pêndulo simples, Vídeo-análise.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 17: Comprimento do barbante em função do período.



Fonte: Autor, 2024.

Na figura 17, os pontos em vermelho foram obtidos experimentalmente. Cada ponto resultou da média de cinco repetições do experimento como podemos verificar na tabela abaixo, a partir das quais calculamos o desvio padrão e o erro associado. Neste caso, o erro foi tão pequeno que não pôde ser representado no gráfico. A curva preta foi obtida por meio de um ajuste linear dos dados experimentais gerando uma função que possui os mesmos parâmetros da Eq. (28), o qual permitiu estimar que a aceleração gravitacional é aproximadamente $g = 9,72 \text{ m/s}^2$

Tabela 3: Dados dos sensores da Cidepe para o pêndulo simples.

$L(m)$	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37
$T^2(s^2)$	0,999	1,0431	1,0581	1,1038	1,13725	1,16545	1,2055
	0,99895	1,04325	1,0582	1,1037	1,13725	1,16495	1,20545
	0,99855	1,0433	1,0578	1,1033	1,1373	1,1651	1,53
	0,9985	1,04315	1,0582	1,10355	1,1369	1,16495	1,20505
	0,99835	1,04305	1,0578	1,10315	1,1369	1,165	1,20535
$T\backslash\text{médio}$	0,99843	1,042955	1,057875	1,103395	1,137035	1,165145	1,23766
$DesvPD$	0,000320 7629793	0,000256 5259354	0,000225 1542681	0,000239 7336485	0,000197 2730764	0,000516 6397842	0,102718 0142

Fonte: Autor, 2024.

Já sobre os dados obtidos através do software Tracker, os pontos em roxo foram obtidos por meio de vídeo-análise. Cada ponto corresponde à média dos valores obtidos a partir de cinco análises de vídeo. O desvio padrão calculado foi novamente insignificante para ser representado no gráfico. A curva roxa como no caso anterior também foi obtida por meio de um ajuste linear desses resultados, o que nos permite determinar o valor aproximado da aceleração gravitacional como $g = 9,77 \text{ m/s}^2$. E além disso, uma equação que possui os mesmos parâmetros da Eq. (28).

Assim como para o experimento da queda livre, no do pêndulo simples também podemos observar que os resultados obtidos, tanto no que se refere aos sensores do kit quanto a vídeo-análise, em comparação com o valor teórico adotado nos cursos de graduação em Física representados pela linha tracejada de cor cinza na figura (17) apresentam valores que se aproximam desse resultado, e que corrobora com o potencial pedagógico do Tracker como ferramenta educacional para o ensino de física na educação básica.

Tabela 2: Dados do software Tracker para o pêndulo simples.

Vídeos	V1	V2	V3	V4	V5	$T\backslash$ médio	DesvPD
$T^2(s^2)$	0	0	0,00E+00	0	0,00E+00	0,001444 444444	0,004333 333333
	0,004	0,004	4,00E-03	0,004	4,00E-03	0,005444 444444	0,004333 333333
	0,008	0,008	8,00E-03	0,008	8,00E-03	0,009444 444444	0,004333 333333
	0,012	0,012	1,20E-02	0,013	1,20E-02	0,013777 77778	0,004236 088342
	0,017	0,017	1,70E-02	0,017	1,70E-02	0,018333 33333	0,004

Fonte: Autor, 2024.

Como ressaltado anteriormente, os dados contidos nesta tabela não estão completos, devido ao seu elevado número de dados.

4.3 Discussão geral dos resultados

Os resultados experimentais confirmaram que o uso da a vídeo-análise é uma alternativa viável para escolas com poucos recursos, permitindo experiências significativas sem equipamentos sofisticados. Além disso, permite também a professores e alunos o manuseio independente por meio de um computador e um celular com câmera, devido à grande facilidade de uso e à possibilidade de analisar variados fenômenos físicos, o que contribui para uma maior compreensão e uma aula diferente das que são ministradas no modelo tradicional. No próximo capítulo, são apresentadas as considerações finais e as implicações pedagógicas deste estudo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

A análise comparativa demonstrou que os resultados obtidos por meio da vídeo-análise com o Tracker apresentaram elevada proximidade com o valor teórico da aceleração gravitacional, em alguns casos com maior precisão que com os sensores dos kits experimentais o que comprova a hipótese levantada na página dez desse trabalho. Isso reforça a confiabilidade do software como ferramenta de apoio às práticas experimentais no ensino de física.

Conclui-se que o uso do Tracker representa uma alternativa viável e eficaz para enriquecer o ensino de física, possibilitando que professores e estudantes se apropriem de ferramentas digitais que aproximam teoria e prática no processo de ensino-aprendizagem, e desse modo responde-se, afirmativamente, o problema de pesquisa.

Como perspectiva, pretendemos ampliar nossa investigação, aplicando o mesmo tipo de análise a outros experimentos clássicos de física.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, Ermerson dos Santos. *Dificuldades no ensino e aprendizagem da Física para alunos da 1º série do ensino médio*. 2023. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Instituto de Física, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.
- BEZERRA JR., Arandi Ginane; OLIVEIRA, Leonardo Presoto de; LENZ, Jorge Alberto; SAAVEDRA, Nestor. Videoanálise com o software Tracker no laboratório didático de Física: movimento parabólico e segunda lei de Newton. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 29, n. especial, p. 1-22, set.2012.
- BORGES, Jacques Cousteau da Silva; ROCHA, Ingrid Ribeiro da. *Análise e reflexões sobre a formação docente e o ensino de Física experimental no Rio grande do Norte*. HOLOS, v. 3, p. 159-171, 2012.
- CORREIA, Jonilson Costa; SANTOS, Mary Jane Duarte dos. O uso de softwares como estratégia de aprendizagem no ensino fundamental: estudo de caso no Centro Educacional Exedito Camilo em São Luís - MA. *Revista@ambienteeducação*, São Paulo: Universidade de São Paulo, v. 13, n. 1, p. 266-282, jan./abr.2020.
- COSTA JÚNIOR, João Fernando; LIMA, Presleyson Plínio de; ARCANJO, Cláudio Firmino; SOUSA, Fabrícia Fátima de; SANTOS, Márcia Maria de Oliveira; LEME, Mário; GOMES, Neirivaldo Caetano. Um olhar pedagógico sobre a Aprendizagem Significativa de David Ausubel. *Rebena – Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem*, v. 5, p. 51-68, jan. 2023.
- FARIA, Felipe Pereira; CARNEIRO, Marcelo Carbone. *O papel da experimentação na história do ensino de Física no Brasil*. Debates em Educação, v. 12, n. 26, p. 36-51, 2020.
- GORDIANO, Grégori Alexandre. *Uma abordagem no ensino de mecânica utilizando o Tracker*. 2019. 91 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.
- LIMA JÚNIOR, Paulo Barbosa de. *Utilizando o software Tracker no ensino de Física: aplicação no movimento harmônico simples*. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Física) – Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, 2017.
- MOREIRA, M. A. *Pesquisa em ensino: aspectos metodológicos*. Porto Alegre: Instituto de Física, Universidade Federal do Rio do Sul, 2003.
- MOREIRA, Marcos Antonio. Desafios no ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 43, supl. 1, e20200451, 2021.
- MOREIRA, Marcos Antonio. *Uma análise crítica do ensino de Física*. Estudos Avançados, São Paulo, v. 32, n. 94, p. 73-80, dez. 2018.

NASCIMENTO, Camila Souza; UIBSON, José. *Uso de experimentos no ensino de Física: uma revisão sistemática da literatura*. Sergipe: Universidade Federal de Sergipe (UFS), 2021.

OLIVEIRA, Fábio Anastácio de. *Uso e divulgação do software livre Tracker em aulas de Física do ensino médio*. 2014. 112 f. Dissertação (Mestrado em Formação Científica, Educacional e Tecnológica) – Universidade do Paraná, Curitiba, 2014.

PIACENTINI, João J. et al. *Introdução ao laboratório de Física*. 5. Ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2013.

SANTOS, Diogo Tiago dos. *Experimento de queda livre construído com Arduino e operado através de uma interface SCADA*. 2021. 122 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

SANTOS, Geciane Aparecida dos. *A importância do uso de experimentos no ensino de ciências*. 2016. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Polo Universitário de Volta Redonda, 2016.

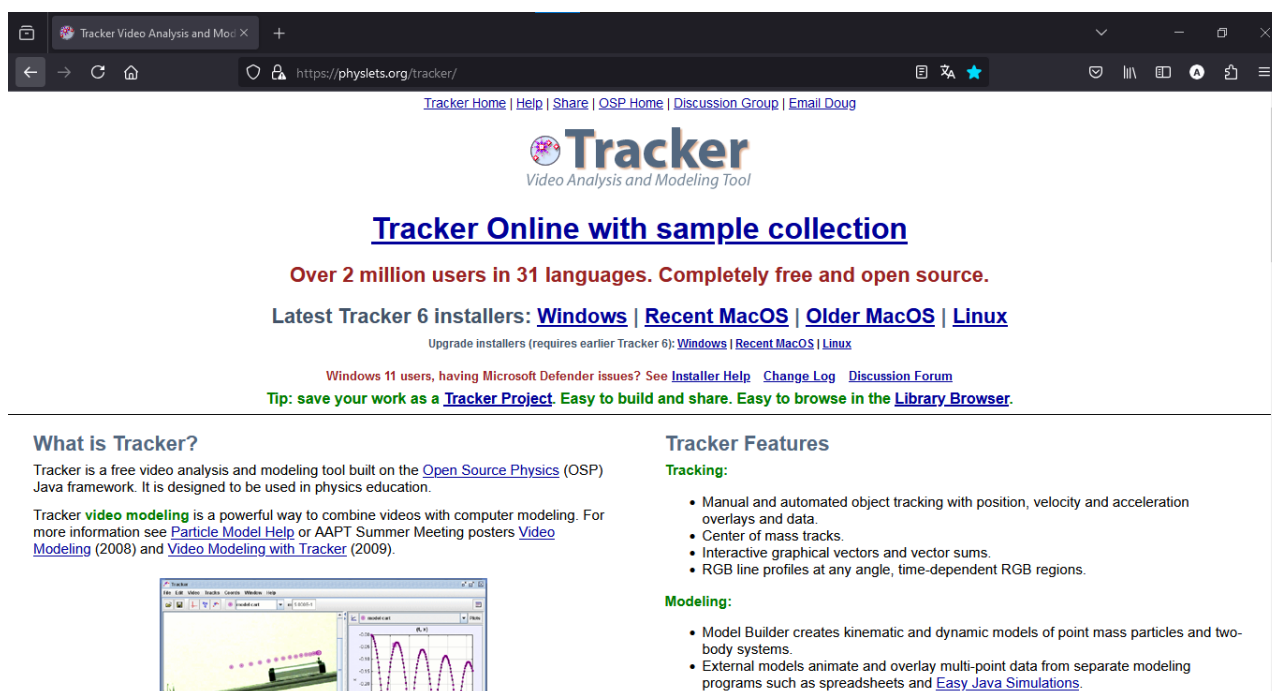
SANTOS, Silmara Simões Ferreira; KAULFUSS, Marcos Aurélio. *Aprendizagem Significativa: conceito histórico*. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (SINECT), 2010, Ponta Grossa. Anais [...]. Ponta Grossa: UTFPR, 2010.

SERWAY, Raymond A; JEWETT JR., Jhon W. *Física para cientistas e engenheiros: oscilações, ondas e termodinâmica*. 8. ed. Tradução de EZ2 Translate. Revisão técnica de Carlos Roberto Grandini. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

SILVA, Cristina Maria dos Santos; ROMEU, Mairton Cavalcante; BARROSO, Maria Cleide da Silva. *Uso de simulações computacionais em aulas de Física: uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL)*. *Revista Insignare Scientia*, Erechim: Universidade Federal da Fronteira Sul, v. 5, n. 3, p. 243-263, 2022.

APÊNDICE

Figura 18: Site oficial do Tracker.

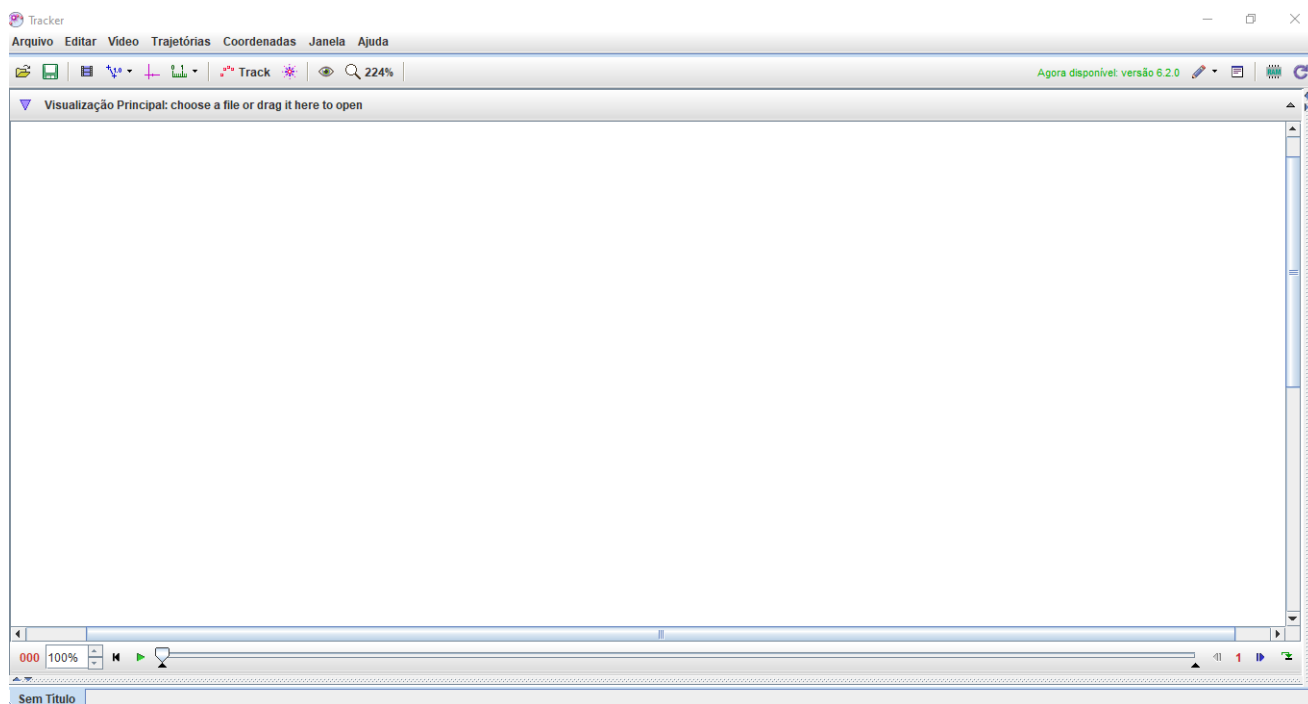


Fonte: Autor, 2024.

Essa é a página oficial para baixar o software Tracker. Nela, o usuário encontrará diversas informações, como por exemplo:

- O que é o Tracker
- Como instalar e utilizar o software
- Formatos de vídeos suportados
- Instaladores e frascos recentes de rastreadores
- Para desenvolvedores e testadores
- Características do rastreador: Rastreamento, modelagem do modelo, vídeo, geração e análise de dados, navegador de bibliotecas e de outros tipos.
- Tutoriais de vídeo
- Exemplos de vídeo
- Publicações e conferência

Figura 19: Interface inicial do Tracker.



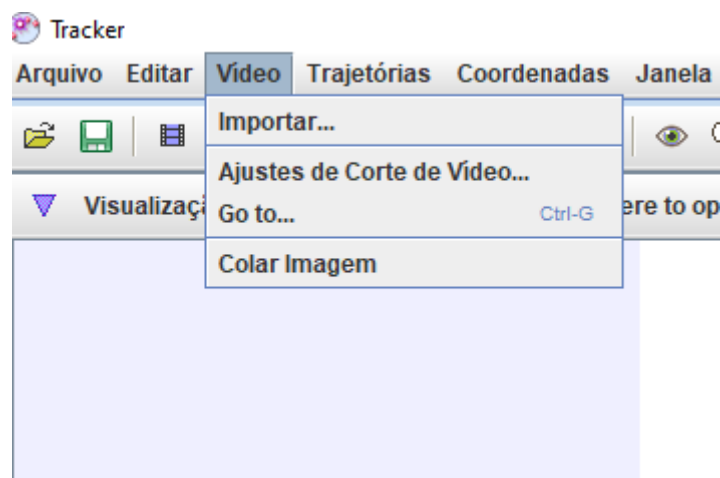
Fonte: Autor, 2024.

Ao executar o software Tracker temos a seguinte interface inicial, composta de muitas funcionalidades como:

- Carregamento de arquivos
- Edição
- Vídeo
- Trajetória
- Coordenadas
- Janela
- Ajuda
- Fita métrica
- Eixo de coordenada e muitas outras funcionalidades

Para começar a explorar o software, temos que importar um vídeo primeiro. E para isso, basta apenas clicar em vídeo e depois em importar.

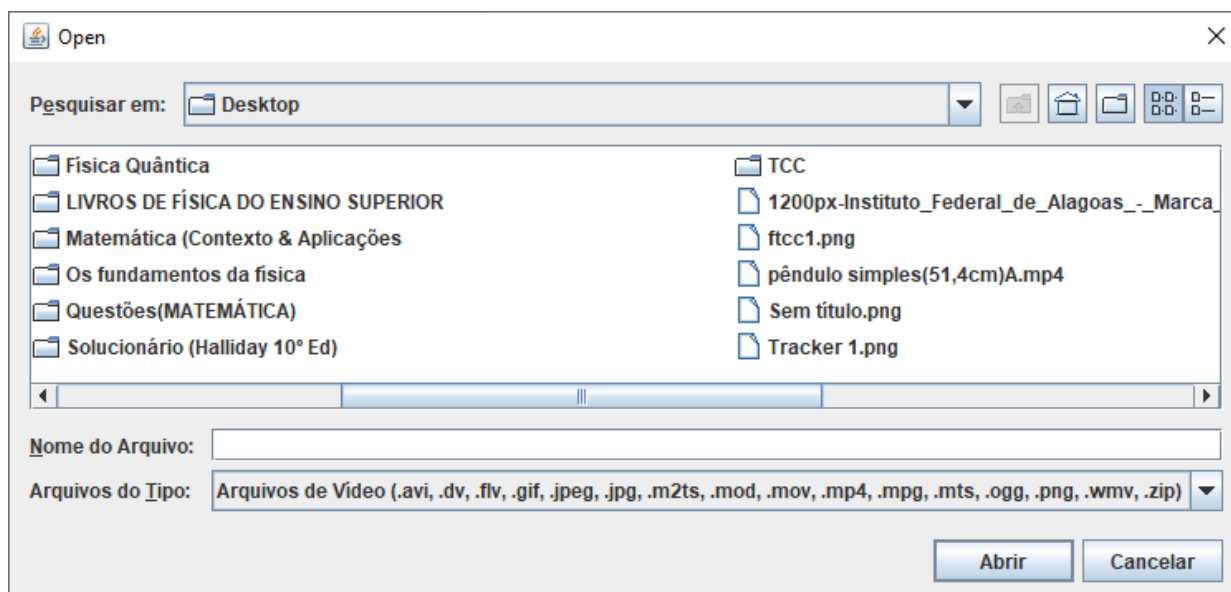
Figura 20: Importando um vídeo no Tracker.



Fonte: Autor, 2024.

Ao clicar em importar, o usuário será destinado para essa página onde deverá selecionar o vídeo com o formato compatível com o software.

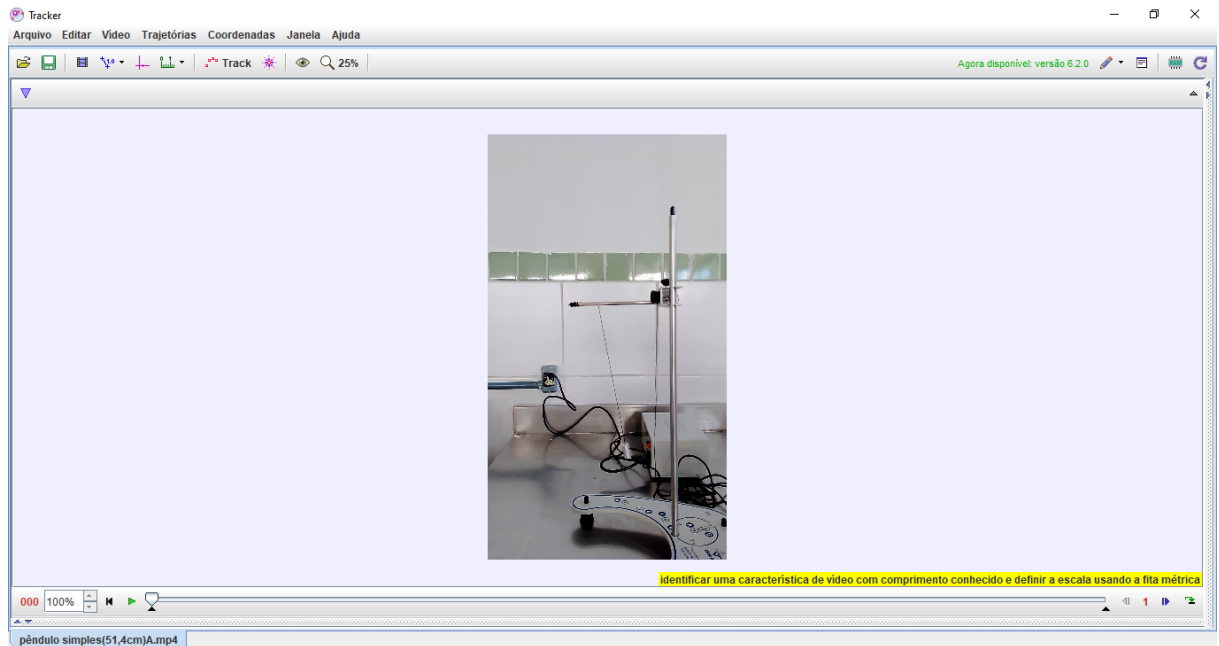
Figura 21: Selecionando um vídeo para análise.



Fonte: Autor, 2024.

Ao selecionar o vídeo, ele será carregado na interface inicial de modo que já possamos começar a realizar as análises.

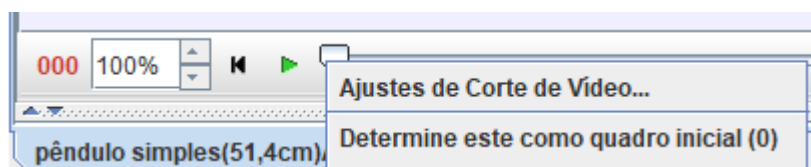
Figura 22: Vídeo carregado na interface inicial.



Fonte: Autor, 2024.

Com o vídeo carregado, selecione a parte que será utilizada para a análise, determinando o quadro inicial e final.

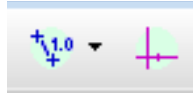
Figura 23: Ajuste de quadro inicial e final.



Fonte: Autor, 2024.

Feito isso, usamos o calibrador para determinar as dimensões e conseqüentemente analisar o movimento do objeto. Além disso, introduzimos também os eixos de coordenadas para determinar em quais eixos esse objeto está sendo analisado.

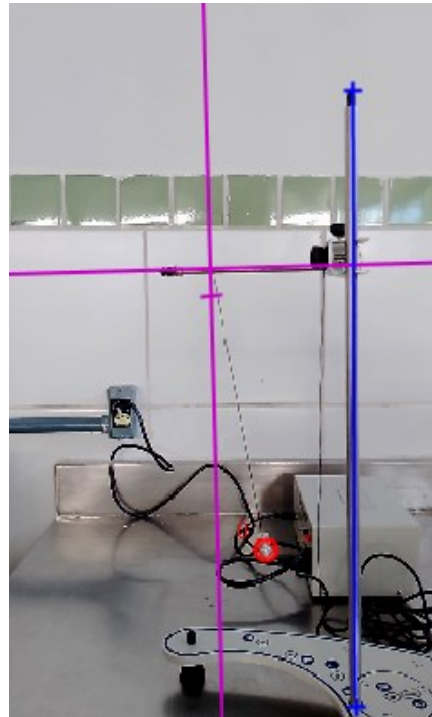
Figura 24: Fita métrica e eixo de coordenadas.



Fonte: Autor, 2024.

Realizado todos os procedimentos anteriores, temos tudo preparado para começar a coleta dos dados.

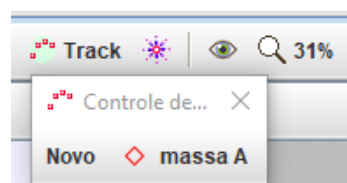
Figura 25: Sistema calibrado.



Fonte: Autor, 2024.

Executando o vídeo, podemos coletar os dados clicando sobre o objeto enquanto ele se move. Para isso, basta apenas clicar em Track > Novo > centro de massa.

Figura 26: Coleta dos dados.



Fonte: Autor, 2024.

À medida que vamos marcando os pontos enquanto o objeto se move, os dados vão sendo armazenados em uma tabela.

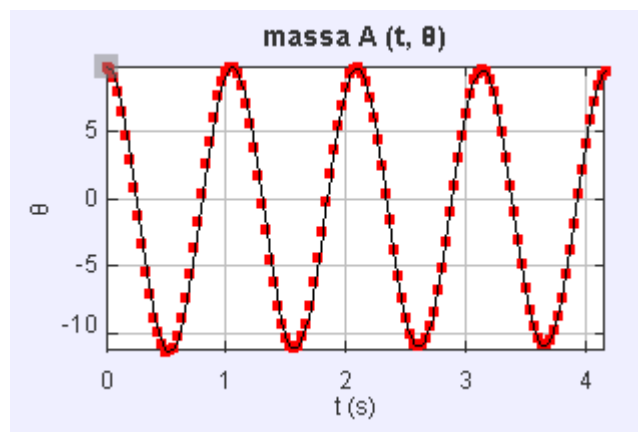
Figura 27: Tabela de dados.

Dados ▾ massa A ▾		
t (s)	x (m)	y (m)
0,000	0,233	4,045E-2
0,033	0,234	3,967E-2
0,067	0,234	3,704E-2
0,100	0,235	3,277E-2
0,133	0,236	2,664E-2
0,167	0,236	1,975E-2
0,200	0,237	1,209E-2
0,233	0,237	3,576E-3
0,267	0,237	-5,148E-3
0,300	0,237	-1,278E-2

Fonte: Autor, 2024.

Conseqüentemente, o software também gera um gráfico dos dados coletados, o que nos permite fazer interpretações através dele.

Figura 28: Gráfico obtido através das marcações feitas no objeto.



Fonte: Autor, 2024.