



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

WALLACE VALE DOS SANTOS

MODELO DE LABORATÓRIO VIRTUAL PARA O ENSINO DE FÍSICA

FORTALEZA

2018

WALLACE VALE DOS SANTOS

MODELO DE LABORATÓRIO VIRTUAL PARA O ENSINO DE FÍSICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Licenciatura em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de licenciado em Licenciatura em Física.

Orientador: Prof. Dr. Jeanlex Soares de Sousa

FORTALEZA

2018

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)

S239m Santos, Wallace Vale dos.

Modelo de laboratório virtual para o ensino de Física / Wallace Vale dos Santos. – 2018.
43 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Física, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Jeanlex Soares de Sousa.

1. Tracker. 2. Ensino. 3. Laboratório. I. Título.

CDD 530

WALLACE VALE DOS SANTOS

MODELO DE LABORATÓRIO VIRTUAL PARA O ENSINO DE FÍSICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Licenciatura em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de licenciado em Licenciatura em Física.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jeanlex Soares de Sousa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Danilo da Silva Borges
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Jorge Luiz Bezerra de Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico esse trabalho à minha família e aos amigos que construí em minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, *Francisco Mardônio Martins dos Santos e Wiliana Vale dos Santos*, pelo apoio incondicional. Agradeço ao meu orientador professor *Jeanlex Soares de Sousa* pelos apoios e orientações nesse trabalho e nos três anos de bolsa. Agradeço também aos amigos: *Rafael de Lima, Julliana Martins, Mailene Silva, Wagner Pereira, Carlos Breno, Emanuel Régis, José Luiz, Marcos Aurélio, Brício Freitas, Wiklyn Craveiro, Álamo Loureço, Clodomiro Neto, Willon Lessa, Gabriel Alves, Danilo da Silva, Jorge Luiz e Carlos Raphael* por todos os incentivos, desespos e diversões criadas nesses anos de graduação. E, finalmente, agradeço a todos os professores, funcionários e membros do grupo GTMC que me ajudaram direta ou indiretamente nessa caminhada.

“Somos todos máquinas térmicas fugindo do
equilíbrio termodinâmico.”

(Saulo Davi Soares e Reis)

RESUMO

O trabalho tem como objetivo demonstrar um modelo de aula experimental, visando a possibilidade de ser realizada uma aula prática, mesmo sem um laboratório físico, de forma fácil. A técnica de análise de imagem e de rastreamento do *software Tracker* possibilita uma nova dinâmica em sala, trazendo, assim, uma metodologia diferente para aula. Esse trabalho também tem como objetivo comparar os erros experimentais esperados de uma prática real com os realizados no *Tracker*.

Palavras-chave: Tracker. Ensino. Física Experimento.

ABSTRACT

This work seeks to demonstrate a model for an experimental class, aiming for the possibility of easily conducting a practical class, even without a physical laboratory. The image analysis and tracking features of *software Tracker* makes possible to have a new dynamic in the classroom, therefore presenting a new methodology to the class. This work seeks also to compare the experimental mistakes expected of a real praxis to the ones made in *Tracker* **Keywords:**

Tracker.Education. Experimental physics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Foto sem segmentação	16
Figura 2 – Foto com segmentação	16
Figura 3 – Foto com valores associados as cores	16
Figura 4 – Figura da representação de subtração das cores	17
Figura 5 – Foto retirada (BRITO; SILVA, 2016)	17
Figura 6 – Localização da partícula através do historiograma (MARCOS ROGÉRIO FERNANDES, 2017)	18
Figura 7 – Tela principal do Traker	22
Figura 8 – Imagem do vídeo após ser importado	23
Figura 9 – Acesso e uso do Bastão de Medição	24
Figura 10 – Local do Eixo de coordenadas	24
Figura 11 – Representação do Rastreamento Manual	25
Figura 12 – Representação do Rastreamento Automático	25
Figura 13 – Opções utilizadas no Rastreamento Automático	26
Figura 14 – Tela principal já configurada	26
Figura 15 – Marcador de tempo	27
Figura 16 – Interface de ajuste do tempo	27
Figura 17 – Janela definir	28
Figura 18 – Gráfico gerado pelo próprio programa	28
Figura 19 – Janela para acessar a função Perfil de Linha	28
Figura 20 – Perfil de linha sobre os picos de interferência	29
Figura 21 – Gráficos retirados diretamente do programa dos picos de intensidade de luz	30
Figura 22 – Gráfico das energias em função do tempo obtidos via Tracker	37
Figura 23 – Gráfico da energia cinética em função do tempo obtidos via Tracker	38
Figura 24 – Comportamento da Energia e momento no tempo	40
Figura 25 – Foto retirada (JOSHUA E. BARNES,)	40
Figura 26 – Gráfico feito a partir do experimento	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados obtidos via Tracker	34
Tabela 2 – Dados obtidos Experimentalmente	34
Tabela 3 – Dados dos Erros percentuais	35
Tabela 4 – Valores da gravidade encontrados a partir dos períodos	35
Tabela 5 – Dados dos Erros percentuais da gravidade	35
Tabela 6 – Dados obtidos experimentalmente da influência do ângulo inicial no período	36
Tabela 7 – Dados obtidos via Tracker da influência do ângulo inicial no período	36
Tabela 8 – Dados obtidos Experimentalmente da influência da massa no período	36
Tabela 9 – Dados obtidos via Tracker da influência da massa no período	36
Tabela 10 – Dados obtidos Experimentalmente: Colisão Elástica	37
Tabela 11 – Dados obtidos via Tracker: Colisão Elástica	38
Tabela 12 – Dados para comparação	38
Tabela 13 – Dados obtidos via Tracker: Colisão Inelástica	39
Tabela 14 – Dados obtidos via Tracker: Colisão Inelástica	39
Tabela 15 – Dados obtidos Experimentalmente. Colisão Inelástica	39
Tabela 16 – Dados para comparação	39
Tabela 17 – Dados para comparação	41

LISTA DE SÍMBOLOS

K	Energia Cinética
p	Momento Linear
λ	Comprimento de Onda
T	Período
m	Massa
g	Gravidade
θ	Angulo Inicial
L	Comprimento do fio
v	Velocidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	SINGLE PARTICLE TRACKING	15
3	IMPORTÂNCIA DA FÍSICA EXPERIMENTAL PARA O ENSINO . .	19
4	TRACKER VIDEO ANALYSIS AND MODELING TOOL	21
5	METODOLOGIA	22
5.1	Principais Funções	22
5.2	Pêndulo simples	31
5.3	Colisão	32
5.4	Espectrômetro	33
6	RESULTADOS	34
6.1	Pêndulo Simples	34
6.2	Colisão	37
6.3	Espectrômetro	40
7	CONCLUSÕES	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas do ensino de física nas escolas em geral é a preocupação da memorização de fórmulas. O ensino está cada vez mais limitado no passo a passo de resoluções de questões a fim de aplica-los em um prova. Esta forma de ensino deixa uma grande deficiência no aprendizado e desenvolvimento crítico dos alunos. Para um melhor aproveitamento dos assuntos de física, o estudo baseado nos experimentos é de uma grande ajuda para um maior entendimento dos fenômenos. Um aula onde o aluno é o sujeito ativo, isto é, onde ele é o responsável por retirar os dados do experimento e usar posteriormente na teoria é de grande incentivo para um maior aproveitamento. Ao aproximar o experimento do aluno, é possível criar um relação entre a teoria ministrada em aula pelo professor com a realidade vivenciada por eles. Visto a necessidade de mudança e as facilidades que a tecnologia vem proporcionante cada dia mais, o uso de *software* é cada vez mais viável e fácil de ser apresentado em sala de aula. As escolas muitas vezes não possuem espaços para laboratório de física ou de ciência, sendo uma grande oportunidade para ser apresentado a ferramenta *Tracker*.

Com essa ferramenta é possível simular um laboratório de física para os alunos, onde os mesmos poderão retirar dados quantitativos dos experimentos mesmo sem presenciá-los. O professor deve observar a melhor situação para apresentar esse programa, no qual o desenvolvedor do *software* disponibiliza uma grande gama de experimentos para se usar, porém o professor deve decidir a necessidade de realizar novos experimentos ou os próprios alunos devem desenvolver. A grande vantagem da utilização desse programa é que depois que o experimento é realizado e filmado, os dados podem ser tirados facilmente sem a necessidade de uma nova reprodução, garantindo, assim, uma maior agilidade e facilidade na hora da elaboração de uma aula.

2 SINGLE PARTICLE TRACKING

O *Single Particle Tracking* refere-se a uma técnica de observação espacial direta de partículas individuais em função de um determinado tempo. Quando pensamos nessa técnica temos diversas áreas onde podemos colocá-la em prática. Uma dessas áreas é a biologia no estudo de microrganismo. Outra área muito beneficiada dessa técnica é a física. Na física clássica, o uso dessa técnica abre diversas portas para o estudo do movimento, o qual basicamente podemos descrever usando as três leis de Isaac Newton.

Teorema 2.0.1 *"Lei I: Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças aplicadas sobre ele"*(NEWTON, 1687)

Teorema 2.0.2 *Lei II: A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção de linha reta na qual aquela força é aplicada."*(NEWTON, 1687)

Teorema 2.0.3 *"Lei III: A toda ação há sempre uma reação oposta e de igual intensidade: as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas em sentidos opostos"*(NEWTON, 1687)

Principal objetivo da física clássica é saber as forças que estão interagindo com a partícula. Usando esta técnica é possível fazer o caminho inverso. Isto é, a partir do rastreamento das partículas, obter as posições das mesmas em um determinado tempo e, assim, descobrir as forças que estão atuando no sistema. Visando o ensino de física, essa técnica pode ser de grande ajuda na realização de experimentos, desenvolvendo, assim, um olhar mais crítico para fenômenos físicos recorrentes no dia a dia.(BRILLINGER, 2007)

O rastreamento de vídeo funciona, basicamente, através da análise de cada imagem individualmente. O *software* deve analisar pixel a pixel das imagens a fim de obter valores que representaram as cores desse pixel, desta forma é possível identificar as partículas desejadas, sabendo as cores esperadas. Um exemplo fácil de imaginar é um vídeo, no qual as partículas são todas brancas com o fundo preto, devemos dizer ao programa que as partículas a serem localizadas são pixels brancos. Logo ele deve ignorar todos os pixels pretos. Com todos os pontos brancos localizados é possível calcular seu centro de geométrico e, finalmente, obter um valor espacial para a sua localização naquele determinado *frame*. Assim, esse cálculo e análise são feitos para todas as imagens que compõem seu vídeo.



Figura 1 – Foto sem segmentação

Para exemplificar a obtenção dos valores pelo computador, foi montando um esquema onde uma grade colocada na Figura 1 representa os pixels e, nessa representação, os valores associados aos pixels serão cores, equivalente às tonalidades de cinza. Então, para o rastreamento ser possível, precisamos saber a cor do objeto que queremos rastrear e localizar os pixels com os valores das cores associadas. Desta forma é possível saber contorno do nosso objeto em cada *frame* como é mostrado na Figura 2 e Figura 3.



Figura 2 – Foto com segmentação

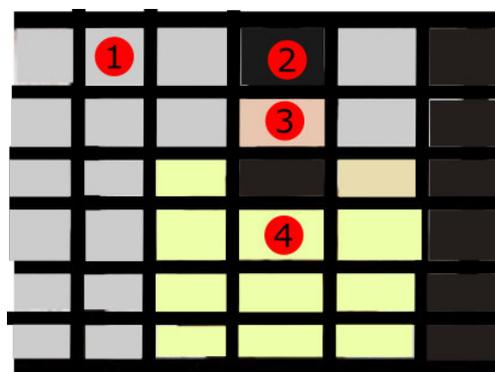


Figura 3 – Foto com valores associados as cores

Outra técnica para rastrear é considerar as imagens como apenas duas cores, preto e branco. Para transformar uma imagem colorida neste formato binário podemos pensar em uma expressão simples. Considerando a Figura 4, isto é, uma imagem formada por uma mistura dessas três cores, podemos retirar subtraindo as cores que não desejamos a fim obter uma cor diferente. Na prática, como é mostrado na Figura 5, estamos subtraídos valores associados aos pixels, onde para um determinado valor menor que T será considerando preto e para valores maiores que T branco.

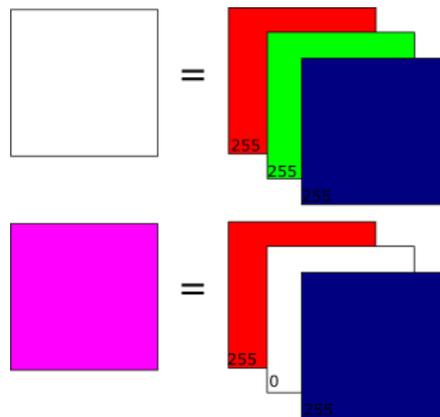


Figura 4 – Figura da representação de subtração das cores

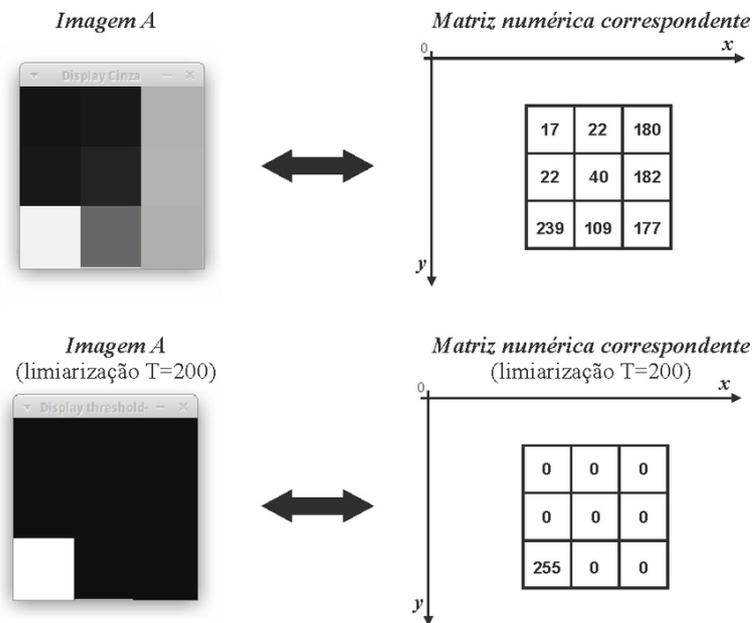


Figura 5 – Foto retirada (BRITO; SILVA, 2016)

Partindo de um imagem binaria, podemos fazer um histograma das cores. Um histograma ou distribuidor de frequências nada mais é que um contador de objetos. Esse contador é representado graficamente, onde o eixo x representa os objetos que queremos contar e o eixo

y representa as quantidades de vezes que aquele objeto foi encontrando. Para o rastreamento podemos usar o histograma para somar os valores associados aos pixels que estamos interessados. Na Figura 6, o histograma representa os pixels brancos que apareceram tanto no eixo x como no y .

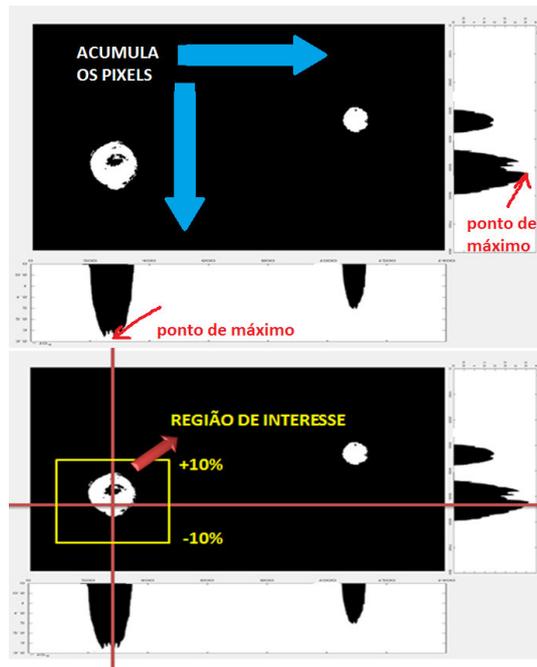


Figura 6 – Localização da partícula através do histograma (MARCOS ROGÉRIO FERNANDES, 2017)

3 IMPORTÂNCIA DA FÍSICA EXPERIMENTAL PARA O ENSINO

Ainda um grande problema nas escolas, no que se diz a respeito do ensino de física, é a falta de ligação com a realidade, onde ainda é baseado quase que exclusivamente em memorização de fórmulas no passo a passo de resoluções de questões mais comuns em provas. Para o aluno que apenas decora expressões, há grande dificuldade em associar a física, por trás das letras e números, com os fenômenos que se deparam no seu dia a dia, ocasionando grande perda de interesse no estudo dessa matéria.

Mediante a indispensável necessidade de mudança na metodologia no ensino, unir a tecnologia e a física pode ser de grande contribuição para o aprendizado fora e dentro da sala de aula. Como a tecnologia está sempre evoluindo, os laboratórios virtuais acabam sendo de grande contribuição, tanto para o aprendizado como para a diminuição da perda de interesse na área por parte dos alunos. Visando o baixo custo e a praticidade, uma proposta interessante e de fácil disponibilidade é criação de vídeos por câmeras digitais ou celulares, e com ajuda de *software* descrever a ciência, as equações e a física que regem aqueles fenômenos.(PEREIRA R. D1, 1986)

O ensino de Física tem-se realizado freqüentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas.(BRASÍLIA, MEC,2000, p.20)

A física como ciência sempre se preocupou em estudar a natureza como um todo, do micro, como átomos e partículas subatômicas, ao macro, com planetas, sistema solares e galaxias, sempre se aproveitando do método científico. O método científico começa com a observação de um fenômeno onde deve haver uma problematização do mesmo, isto é, porque o mesmo está acontecendo. Após a observação e problematização, vem a tentativa de explicar o fenômeno, onde, para essa tentativa, é dado o nome de hipótese. A hipótese é uma parte muito importante para criação de um novo conhecimento, é nela que o indivíduo coloca toda sua sabedoria em busca de fazer novas ligações a fim de explicar aquele acontecimento. Se a hipótese explicar bem o fenômeno, ela poderá ser testada por outras pessoas e, posteriormente, aceita pela comunidade. Se a hipótese se mostrar falha, ela é descartada e um nova hipótese deve ser criada.

Desta forma, as relações de atividades experimentais tendem a funcionar como um ferramenta estratégica na construção do conhecimento, a qual cabe ao professor apresentar o experimento no melhor momento, visto a turma que se deseja trabalhar. O experimento pode ser apresentado em um primeiro momento tentando simular a construção do método científico, favorecendo, assim, o espírito investigativo, onde o indivíduo fará correlações entre os aspectos naturais e artificiais do fenômenos estudados ou pode ser apresentado após uma fundamentação teórica, deixando o aluno correlacionar o aprendizado com o ocorrido no experimento, criando assim o conhecimento.

Ao apresentar um experimento antes de um fundamentação, é estimulado o conhecimento prévio do indivíduo, e para isso deve ser adotada um postura didática diferente do apresentado no cotidiano da sala de aula. Uma possibilidade de mudança de postura é a interação entre os alunos durante a aula, pois a discussão dos fenômenos pode ajudar na formulação das próprias ideias. É nesse ambiente também que o indivíduo terá a chance de observar diferentes ideias e pontos de vista, podendo mostrar a sua própria, a fim de sofrer críticas, melhorando ou abandonando a mesma.

A prática de atividades experimentais de ciências 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. Vale esclarecer que essa prática pedagógica envolvendo a observação e a experimentação permite construir ideias a respeito de fenômenos estudados em sala de aula, visando possíveis indagações baseadas em conceitos e competências científicas. (MOTA; CAVALCANTI, 1986, p.5)

4 TRACKER VIDEO ANALYSIS AND MODELING TOOL

Tracker é uma ferramenta poderosíssima e totalmente gratuita, criada pela equipe comandada pelo professor Douglas Brown, do Cabrillo College, situado na cidade de Santa Cruz, no estado da Califórnia, destinada à análise e modelagem de vídeo, com finalidade de melhorar o entendimento e compreensão da física. Este *software* será o responsável pela obtenção dos dados dos experimentos filmados. A física mecânica depende de grandezas associadas ao movimento, as quais são governadas pelas leis de *Newton*. A partir das posições e do tempo, outras grandezas podem ser determinadas, como aceleração e velocidade, por exemplo. Utilizando esse programa é possível dar um dinâmica melhor nos roteiros de prática, onde são sempre muito estruturados.(DOUGLAS BROWNN, 2018)

Uma técnica usada antigamente era o *fotogate* que necessitava de circuitos eletrônicos e aparelhagem variada que dificultava o manuseio. Outra limitação dessa técnica eram os poucos pontos para as posições o que dificultava o estudo de alguns movimentos acelerados. Usando agora as versões de câmeras digitais modernas, é possível obter facilmente filmagem com mais de vinte Frames por segundo, ou seja vinte fotos a cada segundo de filmagem. Em uma gravação de apenas 2 segundos do movimento de queda livre, podemos obter até quarenta valores de posições, garantindo, assim, um bom gráfico e estudo do movimento.(JR *et al.*, 2012)

Sabendo da importância dos laboratório no auxílio do entendimento, a utilização do *Tracker* oferece maior flexibilidade na elaboração de um aula, visto a facilidade do uso do programa pelo aluno. Outra vantagem é não precisar de um laboratório físico, pois o programa pode se aproveitar das salas de informática para servir de palco ou dos próprios computadores pessoais de cada aluno. A ideia principal de realizar uma aula usando o *Tracker* como laboratório é fazer o aluno tirar dados quantitativos consistentes com a realidade, sendo que os mesmos podem elaborar a filmagem ou usar o próprio acervo de gravações disponibilizado pelo distribuidor do programa ou pelo próprio professor.

5 METODOLOGIA

5.1 Principais Funções

Para uma aula experimental clássica, onde o aluno deve realizar as medidas e montagem do experimento se faz necessário um laboratório de ciências para organizar e guardar os mesmos. No *Tracker* é possível obter os mesmos resultados e propriedades dos experimentos com a grande diferença de que os alunos precisam apenas do vídeo em mãos. Os exemplos mostrados a seguir foram pensados para experimentos já filmados. Para um melhor proveito desse modelo de aula, o aluno deve se preocupar apenas com o problema físico, isto é, deve ser introduzido como o programa funciona minimamente, apresentando seus principais botões e funções, deixando assim a atenção voltada apenas para o problema físico. A Figura 7 mostra a tela principal do programa depois que o mesmo é aberto:

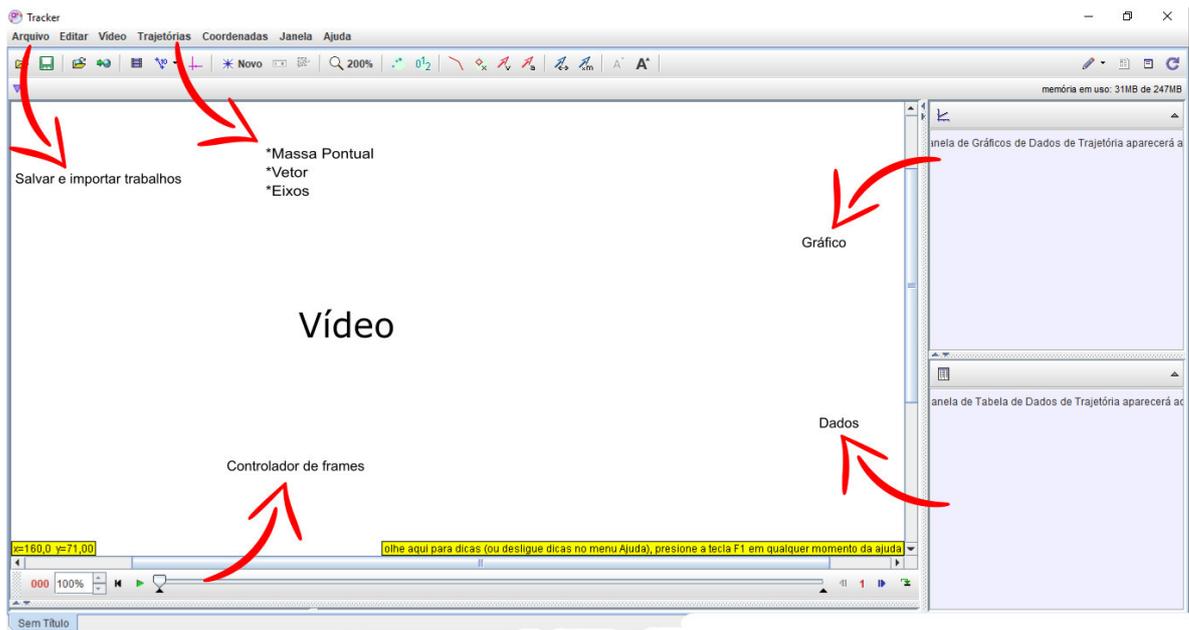


Figura 7 – Tela principal do Tracker

1. *Arquivo*: É o responsável por abrir, salvar, importar e exportar os trabalhos feito no programa.
2. *Trajetória*: É o responsável por definir as partículas a serem rastreadas sendo divididas em: *Massas Pontuais* e *Centro de Massa*
3. *Vídeo*: Onde o vídeo importado para o programa é reproduzido. É nessa tela que também será rastreada as partículas propriamente ditas.

4. *Gráfico*: Após localizar as partículas no video será produzido um gráfico que se atualiza em tempo real. Será nessa tela que o aluno deve analisar a física do problema.
5. *Dados*: É a tabela responsável por armazenar os dados de posição, velocidade, aceleração e etc.

Para exemplificar o potencial do programa, foi escolhido um exemplo de estrutura de prática para reprodução de alunos que já receberam uma fundamentação teórica. A prática é feita em cima de cinco tópicos principais (DIAS, 2017):

1. Objetivos
2. Material
3. Fundamentos
4. Procedimento
5. Questionário

Com o vídeo em mãos, o aluno deve ir na aba *Arquivos* e depois em importar para abrir o video com o experimento desejado. Como exemplo vamos usar um experimento gravado e disponibilizado pelo próprio fornecedor do *software* em seu site. A Figura 8 mostra o video escolhido para o exemplo:

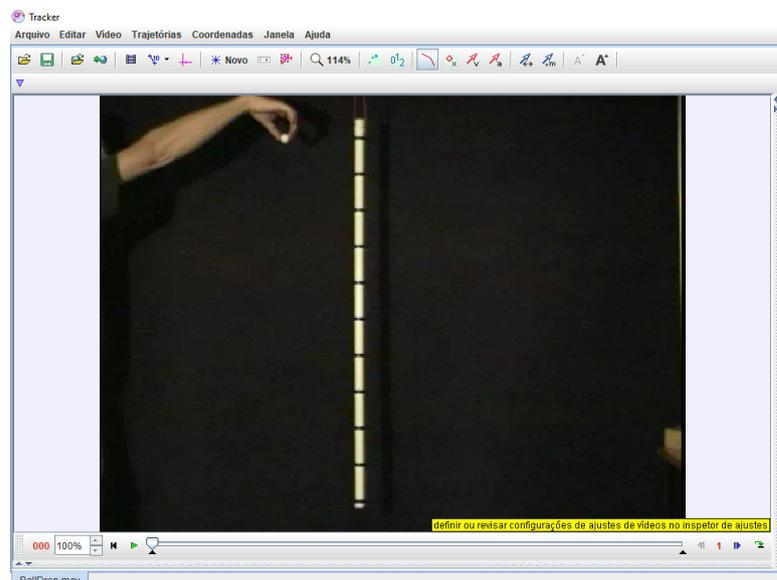


Figura 8 – Imagem do video após ser importado

Um detalhe muito importante, são as unidades usadas. No video é mostrada um barra vertical que será utilizada para fazer a correta conversão da escala, onde a barra esta dividida em várias partes iguais que representam 10cm na escala real do video. Para a calibração devesse ir

na aba *Trajétoria*>*Novo*>*Ferramenta de Calibração*>*Bastão de Medição* e depois, segurando *Shift*, escolher o ponto inicial e final da sua escala, como mostrado na Figura 9.

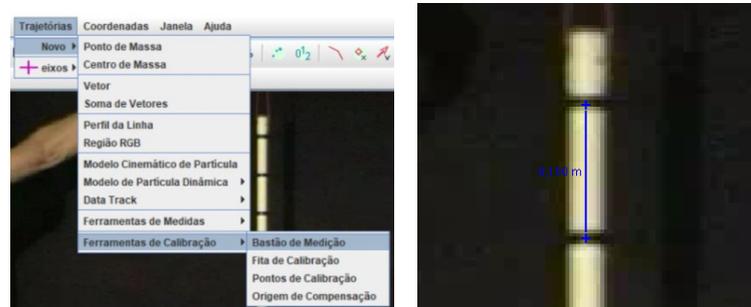


Figura 9 – Acesso e uso do Bastão de Medição

Depois de definir a escala corretamente, deve-se escolher uma origem para o eixo de coordenadas. Para definir o eixo é preciso apenas clicar no ícone com a figura de um Eixo localizado na interface do programa representada na Figura 10.



Figura 10 – Local do Eixo de coordenadas

Após clicar, irá aparecer o sistema cartesiano de coordenadas no centro do vídeo. O aluno deve centralizar o eixo da forma que preferir. No nosso exemplo foi escolhido o ponto onde a partícula desaparece do vídeo como o ponto de origem do sistema. Depois desses passos deve ser feita o rastreamento da partícula desejada. Na aba *Novo* podemos selecionar o tipo de partícula que vamos rastrear, isto é, se é um partícula pontual ou queremos rastrear um centro de massa. Tendo em vista a dimensões da partícula podemos usar o rastreamento da partícula pontual. Para o rastreamento existe duas formas:

- Rastreamento Manual
- Rastreamento Automático

No *Rastreamento Manual*, Figura 11, o usuário deve localizar a partícula com os olhos e depois identificá-la segurando a tecla *Shift* + *um clique com o botão esquerdo do mouse*. Assim, o programa reconhecerá a posição e salvará os dados, já levando em consideração o eixo e escalas escolhidas anteriormente na tabela *Dados*. Esse método é bastante simples, porém para algum caso pode ser um pouco mais demorado dependendo de quantos *frames* deverão ser rastreados. Para um primeiro momento é importante aprender a usar esse método, pois o método de *Rastreamento automático* necessita de uma filmagem mais limpa e mais homogênea possível,

a fim de um melhor rastreamento.



Figura 11 – Representação do Rastreamento Manual

No *Rastreamento Automático* (Figura 12) funciona de uma forma um pouco mais complexa, porém de grande funcionalidade. Como foi dito anteriormente, o vídeo para esse tipo de rastreamento deve estar com um campo limpo e mais homogêneo possível pois o *software* tenta localizar a partícula a partir de um *frame* de comparação. Esse *frame* é definido pelo usuário e deve conter a partícula que se deseja rastrear. Para selecionar o modo de Rastreamento Automático, selecione *Novo>Massa A>Trajetória automática*. Após isso, irá abrir um nova janela e é nela que se deve iniciar o rastreamento. Para selecionar o *frame* de comparação devesse aperta *Ctrl+Shfit+botão esquerdo do mouse* em cima da partícula desejada.

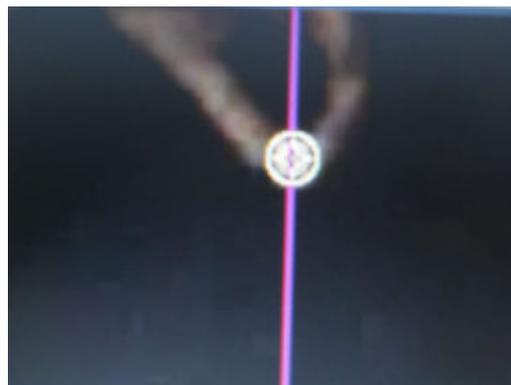


Figura 12 – Representação do Rastreamento Automático

Após selecionar a partícula desejada, aparecerá dois tipos de seleção em vermelho, uma circular responsável por fazer um recorte para o *frame* de comparação e um quadrado responsável por procurar ,em sua área, um recorte parecido com o *frame* de comparação selecionado pelo usuário, onde o programa reconhecerá com sendo a mesma partícula. Por esse motivo devesse ficar atento ao vídeo ser feito de tal forma a facilitar a localização da partícula, a

fim do programa não gerar dados errados na tabela *Dados*. Na Figura 13 é possível visualizar as áreas de seleção em vermelho, o recorte feito para o *frame* de comparação (Modelo) do lado esquerdo e o recorte correspondente no canto direito obtido pelo quadrado vermelho.

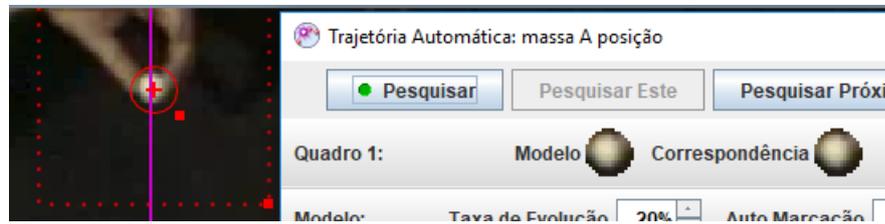


Figura 13 – Opções utilizadas no Rastreamento Automático

Basta então apertar em *Pesquisar* que o programa começa a rastrear a partícula. Ocorrerá casos onde o rastreamento não conseguirá reconhecer a partícula em um determinado *frame*, se isso acontecer o programa irá parar e o usuário deverá localizar manualmente nesse determinado *frame* problemático. Se esse foi apenas o *frame* ruim para o reconhecimento, o programa seguirá rastreando novamente. A Figura 14 mostra a tela principal configurada e com o dados obtidos do rastreamento.

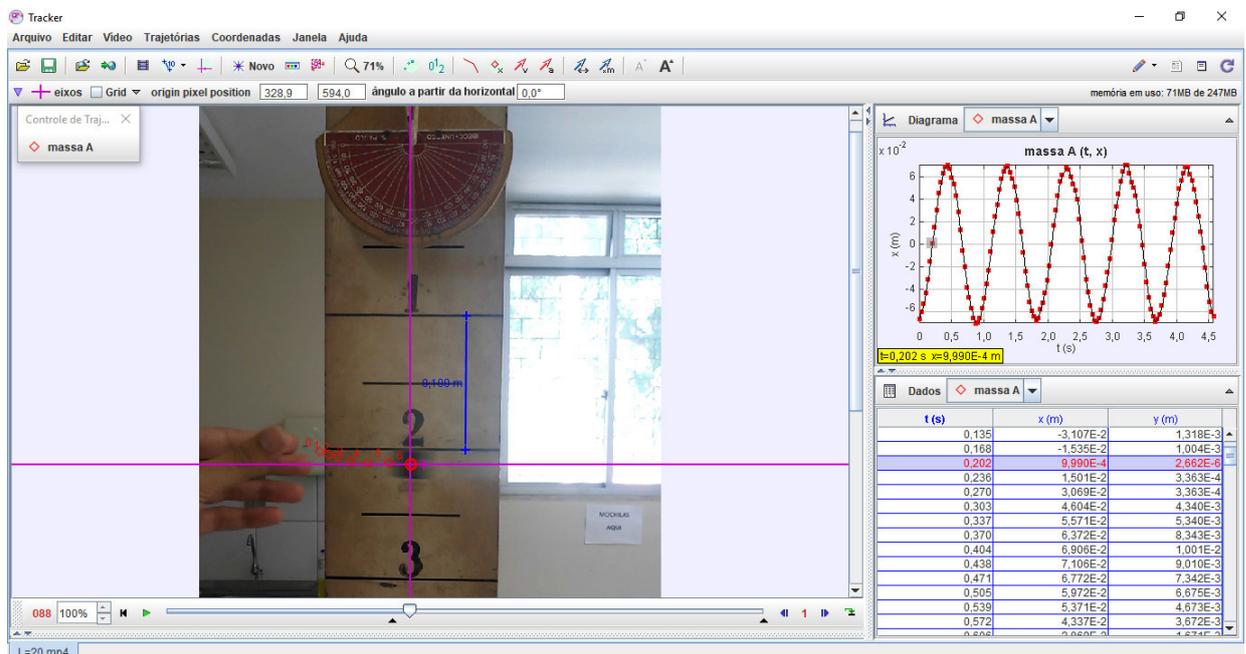


Figura 14 – Tela principal já configurada

Também é preciso definir a origem da marcação do tempo. Podemos definir a origem em qualquer parte do nosso vídeo para isso devemos clicar no *Filme de foto* encontrado na Figura 15.



Figura 15 – Marcador de tempo

Após clicar no ícone aparecerá uma janela (Figura 16) onde deverá ser configurada. Para definir o tempo zero basta editar a caixa de texto *Quadro inicial* para o valor do *frame* inicial.

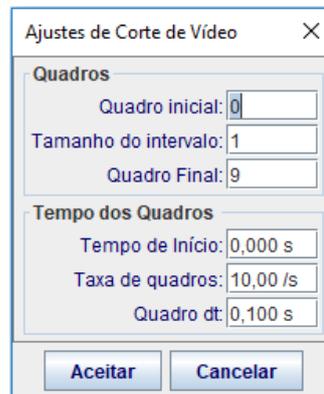


Figura 16 – Interface de ajuste do tempo

Outro função muito poderosa desse programa é a opção *Definir*. O aluno pode definir algumas funções para se obter dados de relações, facilmente. Essa opção aparece quando é apertado o botão direito em cima da tabela *Dados*. Na janela que se abre é possível configurar algumas constantes que serão usadas no decorrer das análises dos dados. Para configurá-las basta clicar no botão *adicionar* na aba *Parâmetros*. Com os parâmetros definidos é possível criar um função e usar as constantes criadas na expressão, como é mostrado na Figura 17.

Um detalhe importante é que próprio programa reconhece o parâmetro y como os valores obtidos do rastreamento, onde o mesmo é equivalente a altura que o pêndulo (Figura 14) ganha e perde no movimento. Podemos agora obter esses dados clicando em *Dados* e selecionando as funções que queremos estudar. É possível observar na Figura 18 os gráficos desses valores no próprio programa clicando em *Diagrama*. É possível modificar os gráficos clicando nos eixos de suas coordenadas para as funções desejadas.

Outra ferramenta poderosa desse *software*, que não está ligado ao rastreamento, mas na análise de espectro, é a *Perfil da linha*. Essa ferramenta se localiza na Aba: *Traje-*

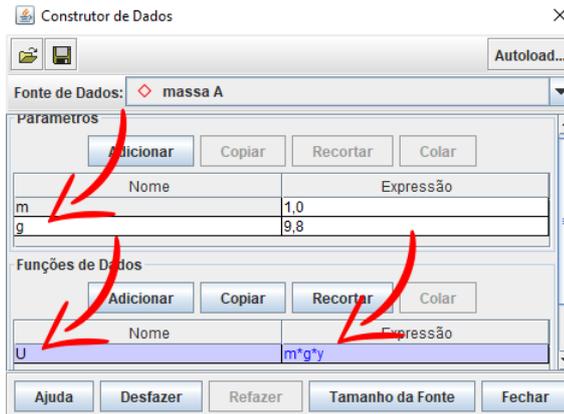


Figura 17 – Janela definir

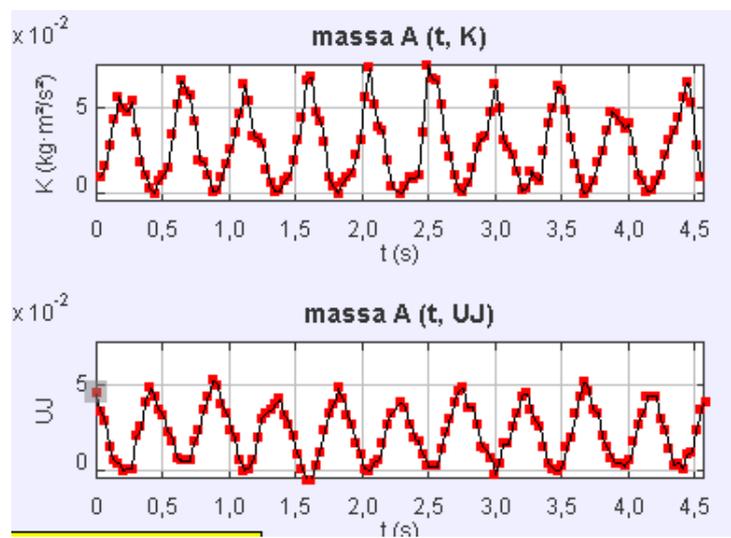


Figura 18 – Gráfico gerado pelo próprio programa

tória>Novo>Perfil da linha, como é mostrado Figura 19, e serve basicamente para estudar espectros da luz no geral.

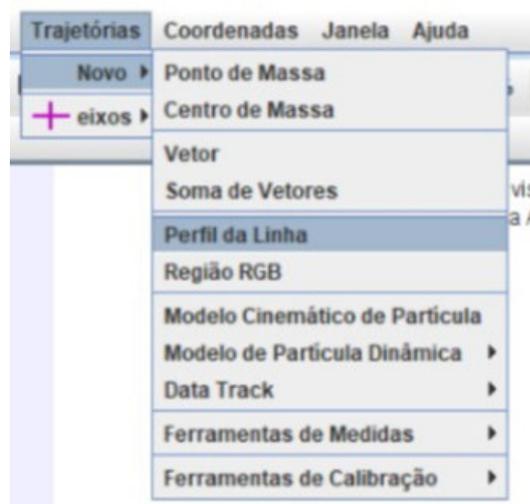


Figura 19 – Janela para acessar a função Perfil de Linha

Essa ferramenta é responsável por mediar a intensidade de luz capturada das imagens que se deseja estudar. Para selecionar a região desejada basta segurar a tecla *shift* + *segurando e arrastando o botão esquerdo* até a fonte desejada. Após realizar esse procedimento deve aparecer uma linha rosa, a qual é responsável por capturar as intensidades luminosas dos pixels. Depois dos ajustes, um gráfico será gerado no *Diagrama*. Esse gráfico tem os eixos selecionados automaticamente, onde o eixo das abscissas representa a distância e o eixo das ordenadas, chamado de *luma*, que representa o brilho recebido. Para exemplificar o funcionamento dessa ferramenta foi escolhido um experimento de difração, onde a Figura 20 mostra o experimento já configurado. Nesse experimento foi realizado com um laser semiconductor da cor vermelho onde seu comprimento de onda é de $633\eta m$.

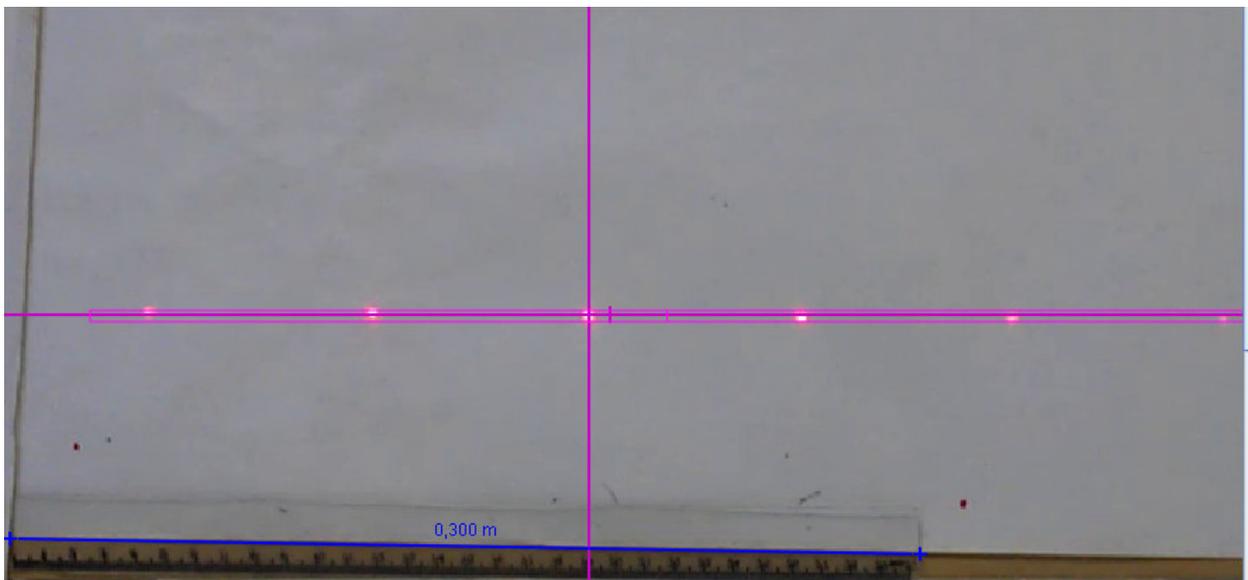


Figura 20 – Perfil de linha sobre os picos de interferência

Como sempre, foi colocada uma régua a fim de representar as medidas coerentes com a realidade do experimento. Na Figura 21 gerada é possível observar que o primeiro pico de intensidade está localizado no valor: $0.007m$. Para realizar a difração foi utilizado uma rede de 800 linhas por milímetro e o anteparo está a uma distância de $13cm$ da rede. Para efeito de teste, foi calculado o valor do comprimento de onda do laser e comparado com o do fabricante. Para calcular o comprimento do laser foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\lambda = \frac{ed}{mL}$$

Onde:

- e = Valor da distância do máximo central até o máximo desejado

- d = Valor do tamanho do orifício usado
- m = Número de ordem da linha
- L = distância entre o anteparo a rede.

Para esse exemplo dado foi possível encontrar o comprimento de onda do laser com um erro de 6.4%. O gráfico obtido mostra $luma$ vs x , onde $luma$ é a intensidade de brilho emitido pelo pixel e são representados na ?? por picos bem característicos.

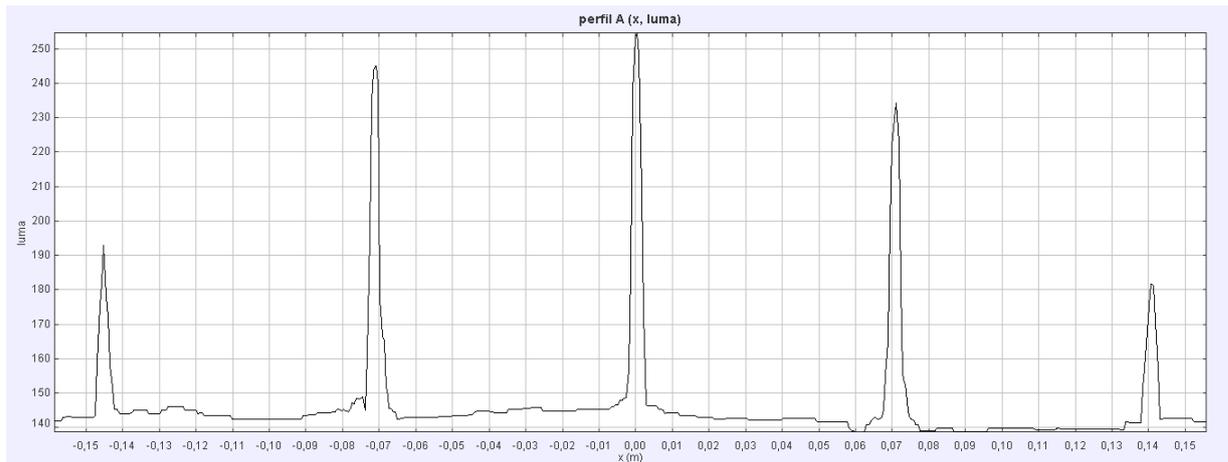


Figura 21 – Gráficos retirado direito do programa dos picos de intensidade de luz

A próxima seção será dedicada a mostrar alguns exemplos de possíveis práticas experimentais utilizando o *Tracker*. Esse modelo de prática foi retirado das cadeiras de física experimental da UFC, entretanto o professor deve dá maior flexibilidade na hora de realizar o roteiro a fim de usar o máximo do potencial do *software* e não cair em uma rotina de passo a passo. Alguns possíveis tópicos importantes para se colocar no relatório são:

- *Objetivos*: o professor deve deixar claro qual fenômeno físico da prática será observado.
- *Material*: Deve ser colocado todos os materiais usados na filmagem.
- *Fundamentos*: Deve ser dada um breve explicação física e conceitual do fenômeno, observado no experimento
- *Procedimento*: deve conter instruções de como foi montado o experimento e os dados básicos necessários para os alunos.
- *Questionários*: deve ser feitas perguntas diretamente ligadas aos dados e à física retiradas do rastreamento.

5.2 Pêndulo simples

Pêndulo simples consiste basicamente em um dispositivo com uma massa puntiforme presa a um fio inextensível e de massa desprezível que oscila. Nesse sistema não devem existir forças externas senão a gravidade responsável por tornar o movimento periódico. Esse movimento pode ser estudado pelos alunos a fim de mostrar as relações e aproximações necessárias para compreender esse movimento. Através dessa prática o aluno deve obter a relações entre as energia, observar a não dependência da massa no período, a possibilidade de calcular a gravidade local a partir de poucos parâmetros e etc.

- **Objetivos:** Determinar a aceleração da gravidade local, a influência de diferentes massas, tamanho do fio e ângulos no período do pêndulo. Comportamento das energias em função do tempo.
- **Material:** Pode se usar qualquer tipo de fio, porém devem ser leves o suficiente a fim de se desconsiderar sua massa. As massas usada devem serem pequenas o suficiente para ser consideradas pontuais e de uma cor contrastante para ser fácil a sua localização no video. Também deve conter uma marcação no vídeo referente a escala real do experimento.
- **Procedimentos:** Foi preso um fio em uma haste de madeira graduada onde era possível alterar o tamanho do mesmo facilmente. Foram feitos diferentes vídeos com massas, comprimento e ângulos diferentes, onde devem ser obtidos os valores do período de cada video e compará-los. O aluno deve fazer um gráfico mostrando o comportamento da energia no tempo através da função mostrada na Figura 17. Nessa parte também é necessário deixar os valores de massa, tamanho do fio e os ângulos iniciais usados nos respectivos vídeos.
- **Questionário:** Algum exemplos de perguntas são:
 1. Qual a gravidade local onde o video foi feito?
 2. Faça um gráfico mostrando o comportamento das Energias no Tempo?
 3. Qual a influencia da massa e comprimento do fio no período do pendulo
 4. Qual a influencia do ângulo inicial no período?

5.3 Colisão

Colisão consiste, a grosso modo, no fenômeno entre dois ou mais corpos que interagem de forma extremamente rápida. Nesse evento a energia e o momento podem ser conservados onde uma característica muito interessante é estudar os casos onde isso acontece. A partir da conservação do momento e da energia, o aluno deve observar a conservação do momento para os casos de colisão inelástica e elástica, deve também ser capaz analisar e explicar a não conservação da energia para o caso da colisão inelástica. O aluno também deverá ser capaz de entender as aproximações feitas nos resultados encontrados a fim de não confundir erro experimental esperado com a falta de conservação do movimento.

- **Objetivos:** Estudar a conservação do momento e da energia de moveis com massas iguais. Observar a diferença entre colisão elástica e inelástica.
- **Materiais:** Foi usado um trilho de ar , dois carrinhos e diferentes pinos.
- **Procedimentos:** Foi usado um trilho de ar a fim de minimizar o atrito com o carrinho e o trilho. O trilho é tubo oco por dentro e tampado em uma das extremidades, onde é colocado na outra um motor responsável por jogar ar dentro do tubo. Na parte superior do tubo existem vários furos por onde o ar deve passar. O ar que passa pelos furos tem uma força suficiente para levantar minimamente o carrinho deixando-o quase sem atrito com o trilho. Com os vídeos deverão ser feitos gráficos do momento e energia em relação função do tempo para os vários casos mostrados. Também é necessário fornecer os valores de massa dos carrinho.
- **Questionário:** Alguns exemplos de perguntas são:
 1. Interprete e construa os gráficos de momento e energia no tempo das colisões observadas.
 2. Descreva os possíveis motivos para não ocorrer a completa conservação do momento e da energia no experimento.
 3. Explique o motivo da não conservação da energia para o caso da colisão inelástica.

5.4 Espectrômetro

O espectrômetro é basicamente um aparelho ótico para o estudo das propriedades da luz. Sua montagem consistem em uma rede de difração e uma fenda para a captação da luz. Quando a luz passa por essa rede a mesma é dividida em feixes monocromáticos bem definidos. Nesse experimento proposto foi montado um espectrômetro caseiro para celular. Foi usado apenas um CD como a rede e um caixa com um fenda muito fina na outra extremidade. Com a câmera do celular foi feito uma foto do espectro de luz formado. A fonte de luz usada para o teste foi uma lâmpada fluorescente comum.(RODRIGUES *et al.*, 2016)

- **Objetivos:** Estudar o funcionamento da difração de uma fonte luz e calcular seus respectivos comprimentos de onda.
- **Materiais:** Foi usado um pedaço de cartolina e um pedaço de CD.
- **Procedimentos:** Com a cartolina foi feito a fabricação da caixa, onde uma extremidade foi colada a rede de difração(CD) e na outra uma pequena fenda foi aberta para a passagem da luz. Com um câmera de celular foi feita a fotografia da dispersão das cores. Para se calcular os comprimentos de ondas é necessário fazer uma calibrar na medidas, o tamanho das ranhuras da rede e a distancia da rede a fenda. Para esse teste a caixa tinha um comprimento de 0,142m , o tamanha da fenda de 0,0000016m e era conhecida a largura da caixa capturada na foto com o valor de 0,043.
- **Questionário:**Alguns exemplos de perguntas são
 1. Como funciona um espectrômetro
 2. Quais os valores dos comprimentos de ondas observados.
 3. Compare com os valores da literatura e estime o erro encontrado.

6 RESULTADOS

Esse capítulo será dedicado a fazer comparações dos resultados tirados classicamente dos experimentos e dos realizados via *Tracker*. Para calcular os erros encontrados foi utilizado a seguinte equação:

$$\%erro = \frac{|V_e - V_r|}{V_r} 100$$

- V_e = Valor encontrado
- V_r = Valor real

6.1 Pêndulo Simples

Os dados experimentais foram obtidos do relatório (PEREIRA, 2016)

Tabela 1 – Dados obtidos via Tracker

Dados obtidos com apenas um período de oscilação

L(cm)	θ	m(g)	T(s)	$T^2(s^2)$
20	15	50	0.87	0.75
40	15	50	1.21	1.46
60	15	50	1.58	2.50
80	15	50	1.78	3.18
100	15	50	1.95	3.81
120	15	50	2.18	4.78
140	15	50	2.39	5.71

Tabela 2 – Dados obtidos Experimentalmente

Dados obtidos com a média de três períodos

L(cm)	θ	m(g)	10T(s)	10T(s)	10T(s)	T(s)	$T^2(s^2)$
20	15	50	8,8	8,4	8,6	0,86	0,74
40	15	50	12,6	12,3	12,2	1,24	1,60
60	15	50	15,2	15,4	15,1	1,52	2,32
80	15	50	17,9	17,8	17,7	1,78	3,16
100	15	50	19,9	19,8	19,7	1,98	3,92
120	15	50	22,4	22,7	22,3	2,25	5,06
140	15	50	24,1	23,9	24,0	2,40	5,76

Tabela 3 – Dados dos Erros percentuais
Comparação dos Erros

T(s)Teórico	Erro Tracker(%)	Erro Experimental(%)
0,897	2,46	4,14
1,269	4,55	2,26
1,554	1,81	2,18
1,794	0,57	0,79
2,006	2,70	1,29
2,198	0,43	2,38
2,373	0,69	1,11
Média	1.17	1.03

É possível observar através da Tabela 3 que a discrepância dos valores encontrado é mínimo em comparação entre os dois e o valor teórico. Também é importante salientar que para encontrar o valor do período no *Tracker* foi preciso apenas rastrear um único período do pêndulo, em contra ponto para calcular o período experimentalmente com uma baixa porcentagem de erro foi preciso contar até dez períodos e realizar uma média.

Tabela 4 – Valores da gravidade encontrados a partir dos períodos
gravidade (m/s²)

Experimental	Tracker
10.68	10.31
10.27	10.77
10.25	9.46
9.97	9.92
10.07	10.36
9.36	9.9
9.6	9.68

Tabela 5 – Dados dos Erros percentuais da gravidade
Comparação dos Erros

g(m/s ²)	Erro Tracker(%)	Erro experimental(%)
9,80665	5.13	8.91
	9.82	4.72
	3.53	4.52
	1.16	1.67
	5.64	2.69
	0.95	4.55
	1.29	2.11
Média%	2.55	2.26

Comprando os valores obtidos da aceleração da gravidade é possível observar que os valores experimentais clássicos e os valores obtidos com o *Tracker* divergem minimamente,

sendo possível usar os valores de rastreamento sem nenhuma perda significativa nos resultados e do aprendizado por parte dos alunos.

Tabela 6 – Dados obtidos experimentalmente da influência do ângulo inicial no período

Valores Experimentais

L(cm)	θ	m(g)	10T(s)	10T(s)	10T(s)	T(s)
140	15	50	23,4	23,1	23,2	2,32
140	10	50	23,5	23,3	23,0	2,33

Tabela 7 – Dados obtidos via Tracker da influência do ângulo inicial no período

Valores via Tracker

L(cm)	θ	m(g)	T(s)
140	15	50	2,39
140	10	50	2,35

Tabela 8 – Dados obtidos Experimentalmente da influência da massa no período

Valores Experimentais

L(cm)	θ	m(g)	10T(s)	10T(s)	10T(s)	T(s)
140	10	50	23,5	23,3	23,0	2,33
140	10	100	2,32	23,0	23,0	2,33

Tabela 9 – Dados obtidos via Tracker da influência da massa no período

Valores via Tracker

L(cm)	θ	m(g)	T(s)
140	10	50	2,35
140	10	100	2,32

Comparando as tabelas Tabela 6 com Tabela 7 e Tabela 8 com Tabela 9 podemos observar que os valores encontrados via *Tracker* divergem novamente muito pouco do experimental conservado a natureza física do problema fielmente, onde para pequenos ângulos e diferentes massas o período do pêndulo simples não se altera. Novamente foi preciso calcular vários períodos do pêndulo no dados experimentais e no final fazer um media para minimizar o erro.

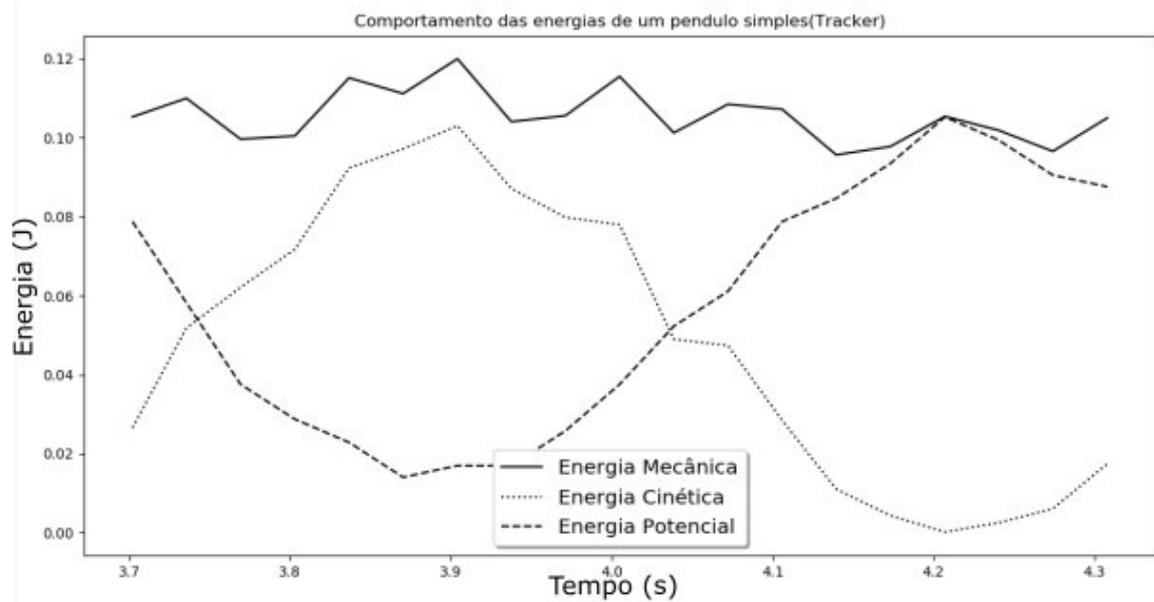


Figura 22 – Gráfico das energias em função do tempo obtidos via Tracker

Como o *software* guarda basicamente valores de posições e tempo é possível fazer um gráfico das energias em função do tempo no próprio programa como já foi explicadas na Figura 17. A Figura 22 foi feita na linguagem de programação *python* a partir dos dados exportados do programa com a finalidade apenas de ficar mais organizado e claro o comportamentos das funções.

6.2 Colisão

O dados obtidos experimentalmente para comparação foram retirados do relatório de prática (CALIXO, 2013).

Tabela 10 – Dados obtidos Experimentalmente: Colisão Elástica

Antes da Colisão					
$\Delta x(m)$	$\Delta t(s)$	$v(m/s)$	$ma(Kg)$	$p(Kg*m/s)$	$K(J)$
0,150	0,178	0,843	0,233	0,197	0,083
	0,163	0,920		0,205	0,090
	0,355	0,423		0,098	0,020
Depois da Colisão					
$\Delta x(m)$	$\Delta t(s)$	$v(m/s)$	$mb(Kg)$	$p(Kg*m/s)$	$K(J)$
0,150	0,188	0,798	0,224	0,179	0,071
	0,174	0,862		0,193	0,083
	0,377	0,398		0,089	0,018

Tabela 11 – Dados obtidos via Tracker: Colisão Elástica

Antes da Colisão			
$\Delta v(m/s)$	ma(s)	p(Kg*m/s)	K(J)
0,573	0,198	0,113	0,033
Depois da Colisão			
v(m/s)	mb(Kg)	p(Kg*m/s)	K(J)
0,552	0,198	0,109	0,030

Tabela 12 – Dados para comparação

Comparação dos Erros		
	Experimental(%)	Tracker(%)
Energia	10,7	9,0
Momento	8,1	3,5

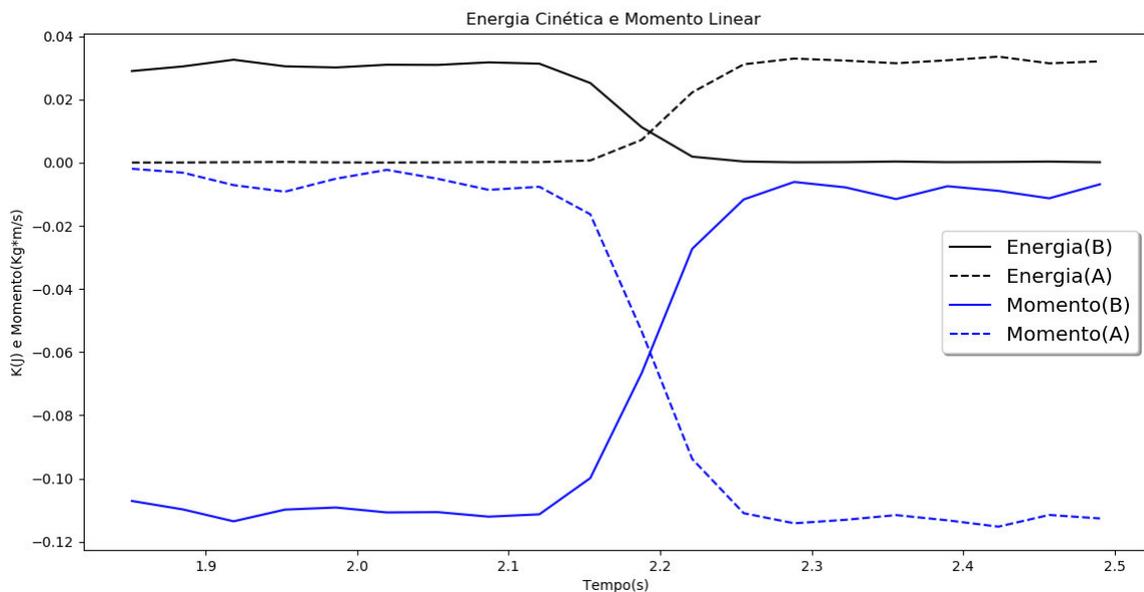


Figura 23 – Gráfico da energia cinética em função do tempo obtidos via Tracker

Observando os valores da Tabela 14 o erro de ambos os experimentos estão dentro do aceitável para ser reproduzidos. Para obter os resultados experimentais foram usados quatro sensores, onde era possível determinar apenas um valor para a velocidade de cada móvel por teste. Foram feitos três vezes e em ambos os casos ocorreu um perca pequena na conservação do momento e na energia para o caso elástico. No *Tracker* foi possível obter valores de erro abaixo do experimental. Os valores de velocidade são obtidos em quase todos os *frames* garantido assim um média bem mais precisa. A média da velocidade foi feita antes e depois da colisão. Outra vantagem do *Tracker* é a falta da necessidade de uma aparelhagem de sensores para se medir o tempo assegurar assim uma maior facilidade e a possibilidade de montar um gráfico do

movimento. A Figura 23 mostra claramente um boa aproximação da conservação da energia e do momento.

Tabela 13 – Dados obtidos via Tracker: Colisão Inelástica
Antes da Colisão

$\Delta v(m/s)$	ma(Kg)	p(Kg*m/s)	K(J)
0,003	0,198	0,001	0,000
$\Delta v(m/s)$	mb(Kg)	p(Kg*m/s)	K(J)
1,016	0,198	0,201	0,104

Tabela 14 – Dados obtidos via Tracker: Colisão Inelástica
Depois da Colisão

v(m/s)	m1(Kg)	p(Kg*m/s)	K(J)
0,460	0,396	0,095	0,025

Tabela 15 – Dados obtidos Experimentalmente. Colisão Inelástica
Antes da Colisão

delta x(m)	delta t(s)	v(m/s)	ma(Kg)	p(Kg*m/s)	K(J)
0,150	0,822	0,182	0,229	0,042	0,003
	0,599	0,250		0,057	0,07
	0,648	0,231		0,053	0,06

Depois da Colisão

$\delta x(m)$	$\delta t(s)$	v(m/s)	mb(Kg)	p(Kg*m/s)	K(J)
0,150	1,716	0,087	0,453	0,040	0,002
	0,291	0,116		0,053	0,003
	0,412	0,106		0,048	0,03

Tabela 16 – Dados para comparação

Comparação dos Erros(Colisão inelástica)

Momento	Erro %
Experimental	7,5
Tracker	5,2

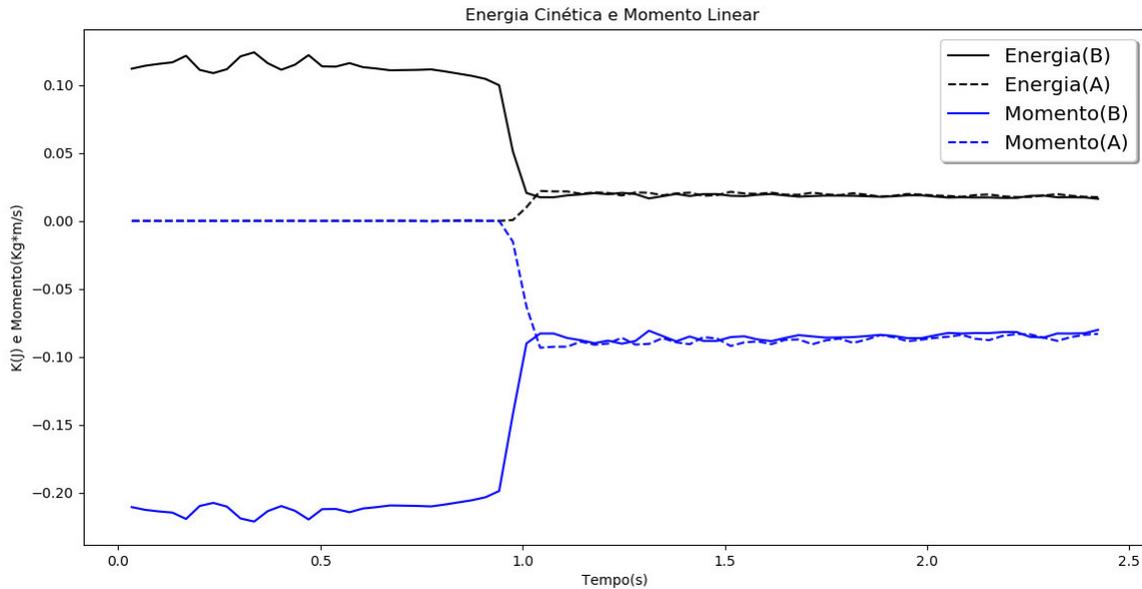


Figura 24 – Comportamento da Energia e momento no tempo

Observando a Tabela 16 percebemos que o valor do *Tracker* é ligeiramente menor do que o experimental, onde o valor baixo encontrado dos dois é totalmente aceitável. Em ambos os teste é possível estudar os fenômenos claramente, onde o *software* tem a vantagem de se obter inúmeros pontos para a formação de um gráfico. A Análise da Figura 24 nesse experimento é de grande importância no aprendizado, visto que apenas os pares de valores encontrados experimentalmente não sejam possíveis de observar o comportamento antes, durante e depois da colisão com clareza.

6.3 Espectrômetro

O resultado foi obtido a partir de um lâmpada fluorescente compacta comum. Essas tipos de lâmpada usam três cores de fósforos em sua composição podendo causar um sobreposição das cores no espectro. (MARK TIELE WESTRA, 2007)

Os dados encontramos são coerentes com o espectros, Figura 25, do elemento argônio elemento esse usado nas fabricações. (ZANICHELI *et al.*, 2004)

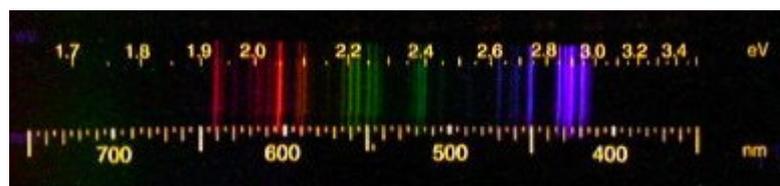


Figura 25 – Foto retirado (JOSHUA E. BARNES,)

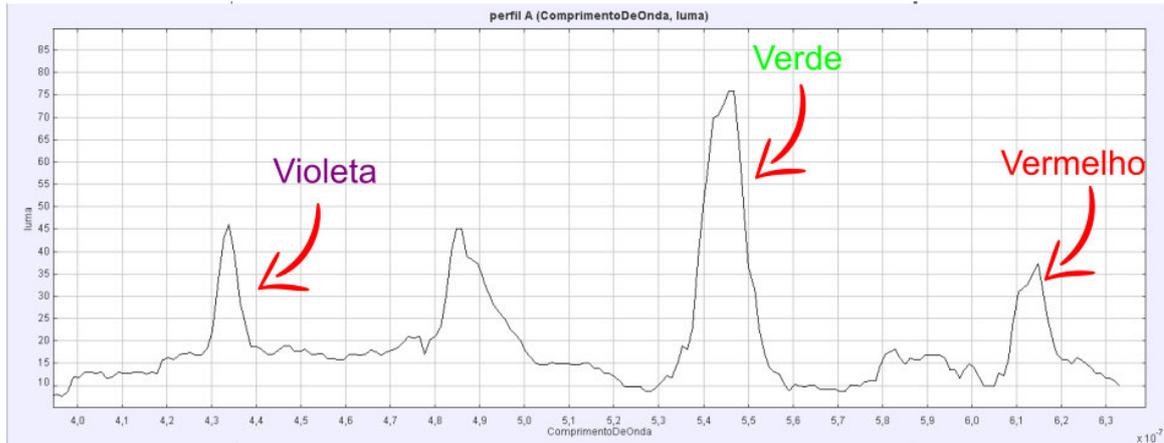


Figura 26 – Gráfico feito a partir do experimento

Tabela 17 – Dados para comparação

Comparação dos Erros

Cores	Tracker(nm)	Literatura(nm)	Erro %
Violeta	434	436,0	0,46
Verde	545	546,0	0,18
Vermelho	614	607,0	1,15

Observando os valores da literatura com os retirados do *Tracker* é possível observar o quanto essa ferramenta é poderosa para esse tipo de estudo. Esse experimento foi feito de tal forma a ser facilmente replicável, tanto pelo professor quanto pelo aluno, visto a facilidade da obtenção dos materiais para sua fabricação. Foi usado novamente a ferramenta *Definir*, onde cabe ao professor mostrar a relação de interferência de Young, deixando os alunos encontrarem a função ou o professor auxiliar nessa etapa. Os picos encontrados na Figura 26 estão associados ao comprimentos de onda encontrados.

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram a viabilidade do uso do programa em sala de aula. Usar essa abordagem experimental como complemento das aulas é de grande importância no aprofundamento e formação dos alunos. As facilidades para se retirar dados do *software* também são um grande incentivo para os professores incrementarem em suas aulas, visto as dificuldades de encontrar tempo para preparar aulas diferentes. Outra vantagem observada é a facilidade de distribuição do material, onde dependendo da necessidade do professor podem ser distribuídos materiais disponibilizados pelo autor do programa ou pode ser elaborado pelo professor ou até mesmo realizado pelos alunos. Os materiais filmados podem ser facilmente guardados e reutilizados por outras turmas sem a preocupação da manutenção dos experimentos.

REFERÊNCIAS

- BRASÍLIA. Ministério da educação. secretaria de educação média e tecnológica. parâmetros curriculares nacionais: Ensino médio (parte 3 – ciências da natureza, matemática e suas tecnologias).brasil: MEC,2000.
- BRILLINGER, D. Learning a potential function from a trajectory. **Signal Processing Letters, IEEE**, v. 14, p. 867 – 870, 12 2007.
- BRITO, A.; SILVA, J. F. Geotecnologias e meio ambiente: Analisando uma área de proteção ambiental. In: _____. [S.l.: s.n.], 2016. p. 132–163. ISBN 978-85-68199-08-4.
- CALIXO, J. R. S. Física experimental engenharia 1 - prática 8 colisões. 2013.
- DIAS, N. L. Roteiros de prática. 2017.
- DOUGLAS BROWNN. **Tracker Video Analysis and Modeling Tools for Physics Education**. 2018. Disponível em: <<https://physlets.org/tracker/>>. Acesso em: 27 nov. 2018.
- JOSHUA E. BARNES. **Spectra in the Lab**. Disponível em: <https://www.ifa.hawaii.edu/~barnes/ASTR110L_F05/spectralab.html>. Acesso em: 27 nov. 2018.
- JR, A. G. B.; OLIVEIRA, L. P. de; SAAVEDRA, J. A. L. N. Video análise com o software livre tracker no laboratório didático de física: Movimento parabólico segunda lei de newton. 2012.
- MARCOS ROGÉRIO FERNANDES. **Rastreamento de objetos usando Filtro de Kalman e Visão Computacional**. 2017. Disponível em: <<https://engenheirosautomatico.blogspot.com/2017/07/rastreamento-de-objetos-usando-filtro.html>>. Acesso em: 27 nov. 2018.
- MARK TIELE WESTRA. **Uma nova visão da luz: construa o seu próprio espectrômetro**. 2007. Disponível em: <<https://www.scienceinschool.org/pt/2007/issue4/spectrometer>>. Acesso em: 27 nov. 2018.
- MOTA, C. M. V. da; CAVALCANTI, G. M. D. O papel das atividades experimentais no ensino de ciências. 1986.
- NEWTON, I. **Philosophiae Naturalis Principia Mathematica**. [S.l.: s.n.], 1687.
- PEREIRA, M. K. D. Prática 3 pêndulo simples. 2016.
- PEREIRA R. D1, S. J. A utilização do software tracker no ensino de física: um breve relato. Addison-Wesley, 1986.
- RODRIGUES, M.; MARQUES, M.; CARVALHO, P. How to build a low cost spectrometer with tracker for teaching light spectra. **Physics Education**, v. 51, p. 014002, 01 2016.
- ZANICHEL, C.; PERUCHI, I. B.; MONTEIRO, L. A.; JOÃO, S. A. da S.; CUNHA, V. F. Reciclagem de lâmpadas aspectos ambientais e tecnológicos. 2004.