



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA - CAMPUS I
CURSO DE GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

JEAN VIDAL NUNES

**AUTOMAÇÃO DE EXPERIMENTO DIDÁTICO EM FÍSICA: TRANSFORMAÇÃO
DE ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL EM ENERGIA CINÉTICA**

SALVADOR

2018

JEAN VIDAL NUNES

AUTOMAÇÃO DE EXPERIMENTO DIDÁTICO EM FÍSICA: TRANSFORMAÇÃO DE
ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL EM ENERGIA CINÉTICA

Monografia apresentada ao Curso de Sistemas de Informação do Departamento de Ciências Exatas e da Terra - Campus I da Universidade do Estado da Bahia, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Alves de Amorim

SALVADOR

2018

Universidade do Estado da Bahia

Sistema de Biblioteca

Ficha Catalográfica - Produzida pela Biblioteca Edivaldo Machado Boaventura

Nunes, Jean Vidal.

Automação de Experimento Didático em Física: Transformação de Energia Potencial Gravitacional em Energia Cinética: / Jean Vidal Nunes.-- Salvador, 2018.

59 fls. : il.:

Orientador: Cláudio Alves de Amorim

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Ciências Exatas e da Terra, 2018

1. Arduino.. 2. Experimento em física.. 3. Conversão de Energia.. 4. Microcontroladores.. I. Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Ciências Exatas e da Terra.

CDD: 025.06

JEAN VIDAL NUNES

AUTOMAÇÃO DE EXPERIMENTO DIDÁTICO EM FÍSICA: TRANSFORMAÇÃO DE
ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL EM ENERGIA CINÉTICA

Monografia apresentada ao Curso de Sistemas de Informação do Departamento de Ciências Exatas e da Terra - Campus I da Universidade do Estado da Bahia, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Cláudio Alves de Amorim (Orientador)
Departamento de Ciências Exatas e da Terra - Campus I
Universidade do Estado da Bahia – UNEB

Prof. Dr. Leandro Santos Coelho de Souza
Departamento de Ciências Exatas e da Terra - Campus I
Universidade do Estado da Bahia – UNEB

Prof. Msc. Julian Hermógenes Quezeda Céledon
Departamento de Ciências Exatas e da Terra - Campus I
Universidade do Estado da Bahia – UNEB

Msc. Vagner Souza Fonseca
Instituto de Biologia
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor do meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia, sem Ele eu não teria forças para essa longa jornada, ao meu pai Odalício de Sousa Nunes, minha mãe Márcia Vidal Nunes.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me permitiu vivenciar mais essa experiência ao longo de minha vida e sem Ele nada disso seria possível.

Aos meus pais, pelo incentivo, cuidado e paciência.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Cláudio Alves de Amorim, pelo empenho e tempo dedicado à idealização, planejamento e elaboração deste trabalho. Por todas as orientações, puxões de orelha e conhecimento compartilhado, pois, foi o que motivou ainda mais a continuação do trabalho.

A Prof. Ms. Débora Alcina Rego Chaves, pela orientação, apoio e confiança. Que foi uma mãe, ajudando em tudo que estava ao alcance e apostando no sucesso deste trabalho. Também pelo carinhoso apelido que me deu, "Jean Hot Wheels", ao qual já sou chamado pelas salas e corredores da UNEB.

Ao Prof. Dr. Leandro Santos Coelho de Souza, pelo apoio não só durante o período do TCC, mas durante todo o curso como professor, coordenador, atualmente diretor acadêmico, mas principalmente como amigo.

Ao Rogério Conceição, Luiz Caribé, que se fizeram disponíveis para ajudar a qualquer momento, e que foram de grande ajuda tanto na parte escrita, quanto na montagem do experimento, além de modelar e imprimir as peças 3D utilizadas no aparato. Também ao Uoston Santos que me ajudou na programação do arduino quando tinha dúvidas e que me esclareceu estas dúvidas, sendo possível concluir esta etapa sem maiores problemas.

Ao Sr. Amadeu, que cedeu de seu tempo na marcenaria, mais de uma vez, para ajudar a fazer peças de madeira que foram fundamentais para o funcionamento do experimento.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, que oraram por mim e torceram para o sucesso desta empreitada, o meu muito obrigado.

“O temor do Senhor é o princípio do conhecimento; os loucos desprezam a sabedoria e a instrução.”

(Provérbios 1:7)

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo descrever a construção de um aparato experimental, motivado à contribuir automatizando o processo de obtenção de dados de hardware e software abertos, visando o baixo custo, para estudar de forma lúdica o problema da conversão de energia potencial gravitacional em cinética, como uma forma de criar uma ponte entre o cenário dos objetos concretos e o cenário dos conceitos e teorias da física direcionando o foco na análise do processo, nas variáveis e nos resultados, bem como, contribuir de forma interdisciplinar ao utilizar tecnologias como Arduino, Raspberry Pi e sensores infravermelho, para demonstrar conceitos e teorias de outras áreas do conhecimento. Com esse ambiente, torna-se mais fácil o envolvimento do aluno com todo o processo, permitindo-o manipular o aparato experimental, alterando a altura do ponto de partida e a massa com diferentes carrinhos, observando as mudanças dos fenômenos estudados e como a sua manipulação influencia nesses fenômenos, tornando-o não apenas um observador, mas também, um agente influenciador e ativo no processo do experimento. Como validação da experimentação, todos os dados foram calculados com base na teoria e foram comparados com os resultados obtidos no experimento. Após a análise dos resultados, desconsiderando os dados inconsistentes, os demais dados se mostraram próximo do esperado, e a diferença entre o esperado e o obtido foi atribuída aos fatores de atrito, resistência do ar, altura dos carrinhos, entre outros descritos no trabalho. Com isso, foi possível constatar que este trabalho teve seus objetivos alcançados e, do ponto de vista do ensino, é possível demonstrar o conceito estudado através de um experimento automatizado, de baixo custo e de forma lúdica, além de evidenciar a dificuldade na experimentação, que só é visualizada quando passa-se do campo teórico para o laboratório experimental.

Palavras-chave: Microcontroladores. Arduíno. Experimento em física. Energia Potencial Gravitacional. Energia Cinética. Conversão de Energia. Cinemática.

ABSTRACT

This work aims to describe the construction of an experimental apparatus, motivated to contribute by automating the process of obtaining open hardware and software data, aiming at low cost, to study in a playful way the problem of the conversion of gravitational potential energy into kinetics, as a way of creating a bridge between the scenario of the concrete objects and the scenario of the concepts and theories of physics directing the focus in the analysis of the process, in the variables and the results, as well as, to contribute in an interdisciplinary way using technologies like Arduino, Raspberry Pi and infrared sensors to demonstrate concepts and theories from other areas of knowledge. With this environment, the student's involvement with the whole process becomes easier, allowing him to manipulate the experimental apparatus, altering the height of the starting point and the mass with different trolleys, observing the changes of the studied phenomena and as their manipulation influences these phenomena, making them not only an observer but also an influential and active agent in the experiment process. As validation of the experiment, all data were calculated based on the theory and were compared with the results obtained in the experiment. After the analysis of the results, disregarding the inconsistent data, the other data were close to the expected, and the difference between the expected and the obtained was attributed to the factors of friction, air resistance, height of the carts, among others described in the paper. With this, it was possible to verify that this work had its objectives reached and, from the point of view of teaching, it is possible to demonstrate the concept studied through an automated experiment, low cost and playful way, besides evidencing the difficulty in experimentation, which is only visualized when the theoretical field is transferred to the experimental laboratory.

Keywords: Microcontrollers. Arduino. Experiment in Physics. Gravitational Potential Energy. Kinetic Energy. Energy Conversion. Kinematics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Arduino Uno	22
Figura 2 – Microcontrolador ATmega328	24
Figura 3 – Placa Protoboard	25
Figura 4 – Sensor Óptico Reflexivo Fototransistor TCRT5000	25
Figura 5 – Aparato Robótico para o estudo do MRU	26
Figura 6 – Construção Robótica para o estudo do MRUV	27
Figura 7 – Montagem experimental	29
Figura 8 – Fórmulas utilizadas	32
Figura 9 – Medidas dos carrinhos e da pista	32
Figura 10 – Medida e modelo dos carros	33
Figura 11 – Trajetória percorrida durante o experimento	34
Figura 12 – Base do aparato com altura variável	35
Figura 13 – Desenho do circuito utilizado no experimento	36
Figura 14 – Diagrama do circuito utilizado no experimento	37
Figura 15 – Aparato experimental antes dos planos de correção	41
Figura 16 – Aparato experimental após execução do plano de correção 1	42
Figura 17 – Carrinhos pintados com spray cor metálica	42
Figura 18 – Aparato experimental após execução do plano de correção 2	43
Figura 19 – Análise de uma amostra dos dados	44
Figura 20 – Gráfico da comparação de energia potencial gravitacional	44
Figura 21 – Gráfico da comparação de energia cinética	44
Figura 22 – Gráfico da comparação de velocidade	45
Figura 23 – Resultados esperados para os carros	52
Figura 24 – Altura dos sensores após correções	54
Figura 25 – Distância entre os sensores após correções	54
Figura 26 – Medidas após correções	54
Figura 27 – Resultado do teste após plano de correção 1	55
Figura 28 – Resultado do teste após plano de correção 2	55
Figura 29 – Cálculo da velocidade dos resultados após o plano de correção 1	56
Figura 30 – Cálculo da velocidade dos resultados após o plano de correção 2	57
Figura 31 – Cálculo das energias após o plano de correção 1	58

Figura 32 – Cálculo das energias após o plano de correção 2	59
Figura 33 – Comparação dos resultados obtidos X resultados esperados	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Materiais utilizados para montar o aparato experimental	33
Quadro 2 – Resultado do primeiro teste com o carrinho 1	53

LISTA DE CÓDIGOS-FONTE

Código-fonte 1 – Código utilizado no Arduino	37
---	-----------

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Aceleração
c	Comprimento
cm	Centímetro
d	Distância
E_c	Energia Cinética
E_m	Energia Mecânica
E_{pg}	Energia Potencial Gravitacional
g	Gravidade
h	Altura
Kg	Quilograma
$k\Omega$	Kiloohm
J	Joule
m	Metro
m/s^2	Metros por segundo ao quadrado
μs	Microsegundo
Ω	Ohm
s	Segundo
Δs	Varição do espaço
t	Tempo
Δt	Varição do tempo
V	Volt
v	Velocidade
v^2	Velocidade ao quadrado
$\%$	Porcentagem
$^\circ$	Grau

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	ENERGIA CINÉTICA	20
2.2	ENERGIA POTENCIAL	20
2.3	ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL	21
2.4	CONSERVAÇÃO DA ENERGIA	21
2.5	ARDUINO	22
2.6	SENSOR ÓPTICO REFLEXIVO FOTOTRANSISTOR TCRT5000	24
3	TRABALHOS RELACIONADOS	26
3.1	EQUIPAMENTO ROBÓTICO PARA O ESTUDO DE CINEMÁTICA	26
3.2	UM AMBIENTE ABERTO BASEADO EM MICROCONTROLADOR PARA EXPERIMENTOS DIDÁTICOS DE FÍSICA: CONVERSÃO FOTOVOLTAICA	27
3.3	ENERGIA E SUAS TRANSFORMAÇÕES: UMA DISCUSSÃO UTILIZANDO UM EXPERIMENTO ATRATIVO	28
3.4	UMA AULA SOBRE CONVERSÃO DE ENERGIA UTILIZANDO BICICLETA, MOTOR, ALTERNADOR E LÂMPADA	29
4	METODOLOGIA	30
4.1	PLANEJAMENTO	30
4.2	EXECUÇÃO	30
4.3	VALIDAÇÃO	31
4.4	EXPERIMENTO	33
4.4.1	Material Utilizado	33
4.4.2	Etapas do experimento	34
4.4.2.1	Circuito Utilizado	36
4.4.2.2	Codificação no Arduino	37
5	RESULTADOS	40
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	46
6.1	CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	46
6.2	LIMITAÇÕES	47
6.3	TRABALHOS FUTUROS	47

REFERÊNCIAS	49
APÊNDICES	51
APÊNDICE A – Resultado Esperado	52
APÊNDICE B – Resultado Preliminar	53
APÊNDICE C – Medidas Após Correções	54
APÊNDICE D – Resultados Após Correções	55
APÊNDICE E – Cálculos de Velocidade Após Correções	56
APÊNDICE F – Cálculo de Energias Após Correções	58
APÊNDICE G – Comparação de Resultados	60

1 INTRODUÇÃO

O processo de ensino da física sofre dificuldades por causa das interpretações dos conceitos que são frequentemente baseadas no senso comum, conforme explica Santos *et al.* (2007) e Borges, Dickman e Vertchenko (2017). Através do estudo de Villani e Nascimento (2003), observa-se que o senso comum e as interpretações de fatos do cotidiano se tornam base para conclusão do raciocínio científico no ensino, que por vezes está equivocado.

Para Borges e Gomes (2005), o ensino da física comumente privilegia a aprendizagem superficial de leis, conceitos, definições e fórmulas, ao invés de proporcionar a vivência do processo de construção do conhecimento e da iniciação ao fazer científico. Eles ainda falam da importância do laboratório de ciências para a criação de um ambiente de aprendizagem, em vista de despertar a compreensão de todo o processo. Sias e Teixeira (2006) também falam sobre o consumo da maior parte do tempo ser na montagem e coleta dos dados, não restando muito tempo para a análise, discussão dos resultados e o entendimento da atividade realizada. Tanto Sias e Teixeira (2006), quanto Sere, Coelho e Nunes (2003), reforçam que isso leva os estudantes a uma gama de investigações, pois, tais aparatos utilizados nos laboratórios são de fácil manipulação por pessoas mais leigas e encorajam o pensar crítico, reduzindo o trabalho monótono¹ da coleta e manipulação de dados, conforme é proposto no presente trabalho.

"Com isso queremos enfatizar nossa posição de que não devemos ensinar as teorias como sendo os 'fatos' da ciência, e que os dados não são gerados para explicar as teorias. Ao contrário, as teorias científicas foram e são desenvolvidas para explicar e interpretar os dados e fenômenos, além de permitir fazer previsões sobre novas situações."(BORGES; GOMES, 2005).

Portanto, Borges e Gomes (2005) concluem que "uma das formas de se obter um ensino mais significativo, contextualizado e atualizado, é através da imersão dos estudantes em ambientes que propiciem atividades investigativas e exigem uma atitude mais participativa e reflexiva". E conforme Sere, Coelho e Nunes (2003), as atividades experimentais tornam menos abstratos os conceitos físicos, ao mesmo tempo que torna mais interessante, de aprendizado fácil e agradável.

Aliado a isso, Sere, Coelho e Nunes (2003) dizem que envolver a experimentação com situações do cotidiano, "tendem a favorecer o aprendizado de conceitos novos na medida em que enfocam uma realidade vivida pelos estudantes e que são normalmente caracterizadas por situações nas quais os estudantes criam suas próprias concepções acerca de diversos fenômenos".

¹ Que não sofre variação ou não demonstra novidade, tornando-se maçante; enfadonho.

Esse mesmo pensamento é reforçado por Borges, Dickman e Vertchenko (2017).

"A maneira clássica de utilizar o experimento é aquela em que o aluno não tem que discutir; ele aprende como se servir de um material, de um método; a manipular uma lei fazendo variar os parâmetros e a observar um fenômeno."(ARAUJO; ABIB, 2003). A ideia é que com o experimento proposto, o aluno possa alterar os parâmetros e observar a influência dessa mudança no processo e nos resultados, tendo como base para comparação desses resultados a teoria.

Silva *et al.* (2016) em seu trabalho também destacam importância dos laboratórios e da robótica nas salas de aula citando como base Piaget, que considera uma melhor aprendizagem dos alunos quando ativos no processo de ensino e Papert, que acredita que quando o aluno cria um artefato concreto, especialmente quando trás relevância ao cotidiano, há uma melhor aprendizagem.

Silva *et al.* (2016) destacam a dificuldade de encontrar equipamentos de baixo custo para entender alguns fenômenos físicos, o que os motivou a buscarem alternativas eficientes e didáticas, levando-os à construção do aparato utilizando a plataforma arduino, apresentando a construção de dois aparatos para o estudo do movimento retilíneo uniforme e do movimento acelerado. Além da plataforma arduino, foram utilizados sensores infravermelho e conexão bluetooth para comunicação entre o microcontrolador e um aparelho celular, bem como materiais recicláveis.

Esse trabalho feito por Silva *et al.* (2016) tem similaridades com o presente trabalho por utilizar o arduino, sensores infravermelho e ser adotado para ensino da física, porém, é aplicado ao estudo do movimento retilíneo uniforme e uniformemente variado, diferente do presente trabalho que visa um aparato experimental de baixo custo para demonstrar a conversão de energia, de forma lúdica, além de utilizar peças impressas numa impressora 3D.

Santos *et al.* (2007) em seu trabalho apresentam uma proposta de experimento para demonstrar vários tipos de conversão de energia, utilizando um sistema constituído por um farol, ligado a um alternador, que por sua vez está conectado a uma bicicleta acionada por um motor. Como resultado, os autores especificam que após as transformações foi possível observar as energias elétrica, mecânica, luminosa, térmica e sonora.

É possível perceber no trabalho de Santos *et al.* (2007) que o aparato experimental utilizado acaba por ter um custo elevado para ser reproduzido, principalmente pela aquisição de uma bicicleta, entre outros materiais. Além disso, a obtenção dos dados foi feita de forma manual. Deste modo, podemos diferir essa proposta do presente trabalho que visa o baixo custo e a obtenção automatizada dos dados.

Conceição (2017) em seu trabalho mostra uma proposta de experimento de ambiente aberto para ensino de física com Arduino e um Raspberry Pi, com objetivo de minimizar o esforço de monitoramento e coleta dos dados com baixo custo e de forma automática. Em seu trabalho, o autor cria um experimento demonstrando a conversão de energia luminosa em energia elétrica, o que difere do presente trabalho, além de não ser de forma lúdica.

Dentre tantos conceitos de física existentes, (SANTOS *et al.*, 2007) e (BORGES; DICKMAN; VERTCHENKO, 2017) citam que o conceito de energia é socialmente importante, pois toda a nossa vida se baseia na sua produção e no seu consumo. Portanto, esse conceito de energia será o objeto de estudo demonstrado no aparato experimental.

Em meio as dificuldades no processo de ensino de física relatadas, alguns autores como (BORGES; GOMES, 2005), (SIAS; TEIXEIRA, 2006) e (ARAÚJO; ABIB, 2003) mostram o uso da experimentação como uma forma eficiente de aprendizado.

No trabalho de Santos *et al.* (2007) é citado o material utilizado para o experimento, o mesmo utilizado no trabalho de Borges, Dickman e Vertchenko (2017), porém, não são informados os custos do material.

Embora a experimentação seja uma forma mais atrativa para o aluno, ainda há problemas como os seguintes:

- Alto custo desses aparatos que acabam inviabilizando sua aquisição.
- Equipamentos fechados, ou seja, que não evidenciam os problemas inerentes à construção do aparato experimental.

Como diz Araujo e Abib (2003), "A maneira clássica de utilizar o experimento é aquela em que o aluno não tem que discutir; ele aprende como se servir de um material, de um método; a manipular uma lei fazendo variar os parâmetros e a observar um fenômeno". Mas a ideia é que com o experimento proposto, o aluno possa alterar os parâmetros e observar a influência dessa mudança no processo e nos resultados, tendo como base para comparação desses resultados a teoria.

Tendo em vista o problema de pesquisa exposto, o presente trabalho tem por objetivo a construção de um aparato experimental, de baixo custo, usando hardware e software aberto, propiciando a coleta de dados automática, para estudar de forma lúdica o problema da conversão de energia potencial gravitacional em cinética, como uma forma de criar uma ponte entre o cenário dos objetos concretos e o cenário dos conceitos e teorias da física direcionando o foco na análise do processo, nas variáveis e nos resultados, bem como, contribuir de forma interdisciplinar ao utilizar tecnologias como Arduino, Raspberry Pi e sensores infravermelho,

para demonstrar conceitos e teorias de outras áreas do conhecimento. Com esse ambiente, torna-se mais fácil o envolvimento do aluno com todo o processo, permitindo-o manipular o aparato experimental, alterando a altura do ponto de partida e a massa com diferentes carrinhos, observando as mudanças dos fenômenos estudados e como a sua manipulação influencia nesses fenômenos, tornando-o não apenas um observador, mas também, um agente influenciador e ativo no processo do experimento. Ao final da experimentação, o aluno pode comparar os resultados obtidos no experimento com a teoria do conceito estudando.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão abordados os métodos e conceitos necessários para a resolução do problema, e que foram utilizados no modelo proposto.

2.1 ENERGIA CINÉTICA

Energia cinética¹, dada em joule (J), é a energia presente em um objeto ao se movimentar, ou seja, é a energia do movimento.

O cálculo da energia cinética (E_c) é:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} = 0,5 \cdot m \cdot v^2 \quad (2.1)$$

onde m é a massa dada em quilograma (kg) e v é a velocidade dada em metros por segundo (m/s).

Da mesma forma, o cálculo da velocidade (V) é :

$$V = \frac{d}{t} \quad (2.2)$$

onde d é a distância dada em metros (m) e t é o tempo dado em segundos (s).

2.2 ENERGIA POTENCIAL

Um corpo em repouso pode possuir energia em função da posição em que ocupa, conforme (FERRARO; SOARES, 1998), sendo esta energia denominada de energia potencial, a energia que está armazenada e pode se manifestar a qualquer momento quando exigida.

Segundo (MARQUES, 2013), quando um corpo interage com outro ou com outros, ele adquire energia. Essa forma de energia, inteiramente relacionada com as interações, depende da distância entre os objetos que interagem. Assim, essa forma de energia depende da posição do objeto. Essa dependência em relação à posição serviu de base para conferir um nome a esse tipo de energia: energia potencial ou, analogamente, energia de posição.

¹ Cinético, em grego, significa movimento.

A energia potencial, assim como a energia cinética, é uma grandeza escalar². (MARQUES, 2013)

2.3 ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL

Se a energia potencial é a energia em função da posição, a energia potencial gravitacional é a energia de um corpo em vista de sua posição relativamente à Terra, como explica (FERRARO; SOARES, 1998), ou seja, é aquela que resulta da interação gravitacional de uma massa m com outras dotadas de massa, segundo (MARQUES, 2013).

De forma mais clara, é a energia de interação entre a massa do objeto e a massa da Terra.

O cálculo da energia potencial gravitacional (E_{pg}), dada em joule (J), é:

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h \quad (2.3)$$

onde m é a massa em quilogramas (kg), g é a aceleração gravitacional³ dada em metros por segundo ao quadrado ($\cong 9,807m/s^2$) e h é a altura dada em metros(m).

2.4 CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

Existem diferentes tipos de energia e entre estes, há uma constante transformação, conforme diz (FERRARO; SOARES, 1998), que ainda fala que a energia não é criada ou destruída, ela apenas é transformada em um ou mais tipos. Então, se calcularmos os valores das grandezas associadas, antes e depois da transformação, esse valor será o mesmo, pois, conforme diz (MARQUES, 2013), tendo em vista que a energia mecânica, que é soma das energias envolvidas na transformação, é conservada, é de se esperar que ao longo do movimento no qual ocorrem as mudanças de posição, uma forma de energia se converta, continuamente, em outra forma de energia.

O cálculo da energia mecânica (E_m), dada em joule (J), é:

$$E_m = E_c + E_{pg} \quad (2.4)$$

² É aquela que é totalmente definida apenas utilizando um número e uma unidade de medida.

³ Valores que variam de $9,789m/s^2$ no equador, até $9,823m/s^2$ nos polos.

Substituindo por suas respectivas fórmulas, temos:

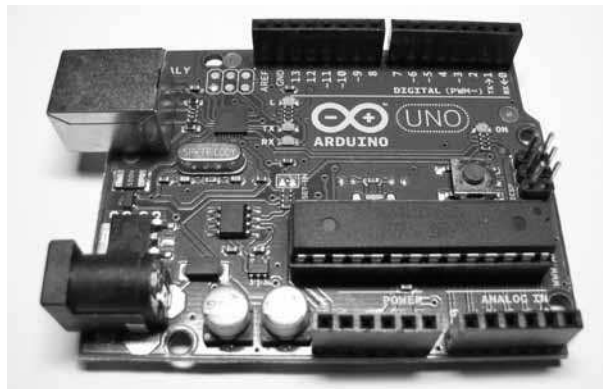
$$E_m = \frac{m.v^2}{2} + m.g.h \quad (2.5)$$

2.5 ARDUINO

O Arduino é, segundo (ARDUINO.CC, 2018c), uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar. Placas Arduino são capazes de ler as entradas, tais como a luz em um sensor, um dedo pressionando um botão ou uma mensagem no Twitter, e transformá-lo em uma saída, ativando um motor, ligando um LED, publicando algo online. Pode-se dizer à placa o que fazer enviando um conjunto de instruções para o microcontrolador na placa.

(MCROBERTS, 2011) diz que um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele (Figura 1). O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software.

Figura 1 – Arduino Uno



Fonte – (MCROBERTS, 2011)

Ainda conforme (MCROBERTS, 2011), o Arduino pode ser conectado a LEDs⁴, displays (mostradores) de matriz de pontos, botões, interruptores, motores, sensores de temperatura, sensores de pressão, sensores de distância, receptores GPS, módulos Ethernet ou qualquer outro dispositivo que emita dados ou possa ser controlado.

⁴ Light Emitting Diode ou em português, Diodo Emissor de Luz.

A placa do Arduino é composta de um microprocessador Atmel AVR⁵, um cristal ou oscilador (relógio simples que envia pulsos de tempo em uma frequência especificada, para permitir sua operação na velocidade correta) e um regulador linear de 5 volts. Dependendo do tipo de Arduino que você utiliza, ele também pode ter uma saída USB, que permite conectá-lo a um computador para upload ou recuperação dos dados. A placa expõe os pinos de entrada/saída do microcontrolador, para que você possa conectá-los a outros circuitos ou sensores.(MCROBERTS, 2011).

Oficialmente existem diversificadas placas de Arduino disponíveis, além das não oficiais, porém, para este projeto será utilizado o Arduino Uno⁶ em sua terceira versão (Rev3).

Conforme (ARDUINO.CC, 2018a), o Arduino Uno é uma placa baseada no microcontrolador ATmega328P. Contém tudo o que é necessário para suportar o microcontrolador, bastando conectá-lo a um computador com um cabo USB ou ligá-lo com uma bateria ou um adaptador AC-to-DC. Ela Possui:

- 14 pinos de entrada/saída digitais (dos quais 6 podem ser utilizados como saídas PWM⁷).
- 6 entradas analógicas.
- Um cristal de quartzo de 16 MHz.
- Uma conexão USB⁸.
- Um conector power jack.
- Um ICSP⁹ header.
- Um botão de reset.

Ao se falar no microcontrolador ATmega328P (Figura 2), pode-se dizer que este é o principal componente do Arduino. Segundo (MARTINS, 2005), os microcontroladores são pastilhas inteligentes, que têm um processador, pinos de entradas/saídas e memória. Por meio da programação dos microcontroladores pode-se controlar suas saídas, tendo como referência as

⁵ Microcontrolador RISC de chip único com uma arquitetura Harvard modificada de 8-bit, desenvolvido pela Atmel em 1996.

⁶ Palavra italiana, que significa literalmente "Um".

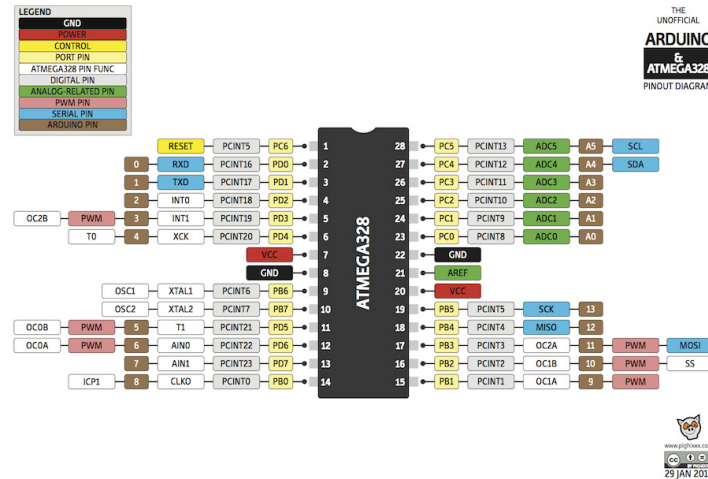
⁷ Pulse Width Modulation ou em português, Modulação de Largura de Pulso, ou seja, através da largura do pulso de uma onda quadrada é possível o controle de potência ou velocidade.

⁸ Universal Serial Bus ou em português, Barramento Serial Universal é um tipo de conexão que permite a fácil conexão de periféricos sem a necessidade de desligar o computador.

⁹ In-Circuit Serial Programming ou em português, Programação Serial Em Circuito, é a capacidade de alguns dispositivos lógicos programáveis, microcontroladores e outros dispositivos incorporados serem programados enquanto instalados em um sistema completo, em vez de exigir que o chip programado antes de instalá-lo no sistema.

entradas ou um programa interno.

Figura 2 – Microcontrolador ATmega328



Fonte – <https://br-arduino.org/2015/05/atmega-arduino-fuses.html>

O Microcontrolador ATmega328 ainda possui conforme (ATEMEL, 2016), 3 temporizadores (timers), dois de 8-bit (TC0,TC2) e um de 16-bit (TC1).

Segundo (SOUZA,), cada temporizador possui características próprias e são utilizados conforme os recursos disponíveis, sendo que esses temporizadores são importantes para diversas funcionalidades, tais como:

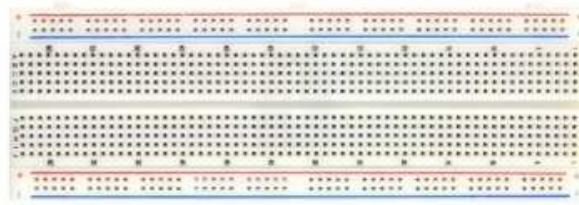
- Temporização
- Contagem de eventos externos
- Geração de sinais PWM
- Interrupções periódicas
- Medida de intervalos de pulsos

Em conjunto com a utilização do arduino, também é utilizada uma placa protoboard (Figura 3), que é uma placa reutilizável usada para construir protótipos de circuitos eletrônicos sem solda. Uma protoboard é feita por blocos de plástico perfurados e várias lâminas finas de uma liga metálica de cobre, estanho e fósforo (MULTILOGICA, 2014).

2.6 SENSOR ÓPTICO REFLEXIVO FOTOTRANSISTOR TCRT5000

O sensor óptico usado é o sensor óptico reflexível TCRT5000 (Figura 4), que funciona emitindo luz infravermelha por um LED, que é refletida quando objetos aproximando-

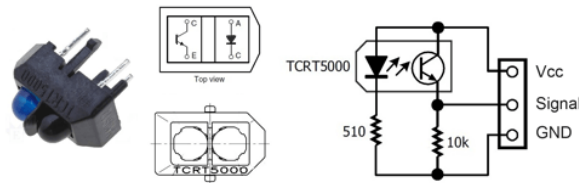
Figura 3 – Placa Protoboard



Fonte – <https://multilogica-shop.com/protoboard>

se dele, principalmente objetos bem reflexivos ou brancos. A luz refletida é absorvida por um fototransistor capaz de absorver luz infravermelha.

Figura 4 – Sensor Óptico Reflexivo Fototransistor TCRT5000



Fonte – <http://hallroad.org/product/tcrt5000-reflective-optical-sensor/>

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo serão analisados os trabalhos encontrados que são correlatos ao proposto.

3.1 EQUIPAMENTO ROBÓTICO PARA O ESTUDO DE CINEMÁTICA

Neste trabalho, (SILVA *et al.*, 2016) começam explicando a importância dos laboratórios e da robótica nas salas de aula citando como base Piaget, que considera uma melhor aprendizagem dos alunos quando ativos no processo de ensino e Papert, que acredita que quando o aluno cria um artefato concreto, especialmente quando trás relevância ao cotidiano, há uma melhor aprendizagem.

Além disso, os autores destacam a dificuldade de encontrar equipamentos de baixo custo para entender alguns fenômenos física, o que os motivou a buscarem alternativas eficientes e didáticas, levando-os à construção do aparato utilizando a plataforma arduino.

O trabalho apresenta a construção de dois aparatos para o estudo do movimento retilíneo uniforme e do movimento acelerado, utilizando sensores infravermelho e a plataforma arduino com conexão bluetooth para comunicação com um aparelho celular, além de utilizar materiais recicláveis.

1. É feito com um carrinho motorizado em um trilho, conforme (Figura 5).
2. É feito com uma bola em queda livre, conforme (Figura 6).

Figura 5 – Aparato Robótico para o estudo do MRU



Fonte – (SILVA *et al.*, 2016)

A proposta apresentada pelos autores nos dois experimentos é para estudo do movimento retilíneo uniforme e uniformemente variado. Para os dois experimentos são utilizados o mesmo circuito, que contém sensores infravermelhos para detecção da passagem dos objetos e

Figura 6 – Construção Robótica para o estudo do MRUV



Fonte – (SILVA *et al.*, 2016)

os dados são enviados para o arduino, que foi programado para obter os instantes de tempo. As posições do objetos foram obtidos manualmente por uma trena métrica, e com esses dados, os autores organizaram-nos em tabela para geração de gráficos com um programa externo.

Os autores destacam como trabalho futuro uma melhor análise dos aparatos por parte de alunos do ensino fundamental, para melhor compreensão dos componentes e exploração de forma interdisciplinar.

3.2 UM AMBIENTE ABERTO BASEADO EM MICROCONTROLADOR PARA EXPERIMENTOS DIDÁTICOS DE FÍSICA: CONVERSÃO FOTOVOLTAICA

Neste trabalho, (CONCEIÇÃO, 2017) começa dividindo o ensino da física em prática e teórica no intuito de destacar a importância da prática experimental no ensino para tornar o aluno ativo no processo de aprendizagem e também para a comprovação das teorias junto com os resultados da prática.

O trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um ambiente aberto para experimentos didáticos em física utilizando um Arduino e um Raspberry Pi, visando minimizar o esforço com o monitoramento dos experimentos e coleta dos dados, automatizando-os.

O tema principal do trabalho é a conversão de energia luminosa em energia elétrica, onde foi construído um aparato com o propósito de analisar o comportamento de uma célula fotovoltaica sob diferentes condições de iluminação, durante o processo de carga do capacitor num circuito RC, conforme o autor deixa claro em seu trabalho, que utiliza uma lâmpada, com uma determinada potência nominal, para incidir luz sobre uma célula fotovoltaica que produzirá energia para alimentar o circuito RC e carregar o capacitor ao longo tempo.

Como conclusão o autor destaca, entre outros pontos, que a obtenção de dados múltiplos em pouco tempo de forma automática é comparativamente mais fácil a registros manuais.

3.3 ENERGIA E SUAS TRANSFORMAÇÕES: UMA DISCUSSÃO UTILIZANDO UM EXPERIMENTO ATRATIVO

Neste trabalho, (SANTOS *et al.*, 2007) começam explicando a importância do conceito de energia e a dificuldade no processo de ensino e aprendizagem por conta das interpretações normalmente baseadas no senso comum. Além de destacar a importância da experimentação principalmente quando aliada a situações no cotidiano, o que torna os conceitos mais concretos e estimulantes, enriquecendo o processo de ensino.

Os autores apresentam uma proposta de experimento para demonstrar vários tipos de conversão de energia, utilizando um sistema constituído por um farol, ligado a um alternador, que por sua vez está conectado a uma bicicleta acionada por um motor, conforme (Figura 7). Seguindo os resultados, os autores especificam que após as transformações foi possível observar as energias elétrica, mecânica, luminosa, térmica e sonora.

Para este trabalho é possível observar que o aparato experimental utilizado acaba por ter um custo elevado se for reproduzido, principalmente pela aquisição de uma bicicleta, entre outros materiais. Além disso, a aquisição dos dados foi feita de forma manual.

Figura 7 – Montagem experimental



Fonte – (SANTOS *et al.*, 2007)

3.4 UMA AULA SOBRE CONVERSÃO DE ENERGIA UTILIZANDO BICICLETA, MOTOR, ALTERNADOR E LÂMPADA

Este trabalho de (BORGES; DICKMAN; VERTCHENKO, 2017) é uma continuação do (SANTOS *et al.*, 2007), utilizando o mesmo aparato experimental, porém aplicando-o em uma turma do ensino médio. Foi também aplicado um questionário pré-teste e pós-teste para validar a contribuição do aparato na melhora do entendimento dos alunos.

4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho foi feita a revisão sistemática com o objetivo de levantar as pesquisas relevantes ao tema estudado, sendo que a revisão é um tipo de estudo secundário que facilita a elaboração do trabalho e do planejamento da pesquisa. A metodologia apresentada foi dividida entre as etapas de planejamento, execução e validação, e todas as etapas foram discutidas e decididas com o orientador do projeto e com o professor das disciplinas TCC-I e TCC-II, através de reuniões pré-agendadas e/ou aulas específicas.

4.1 PLANEJAMENTO

- Definir o problema de pesquisa.
- Fazer a revisão bibliográfica.
- Definir objetivos gerais e específicos.
- Levantar conhecimentos sobre microcontroladores.
- Levantar conhecimentos sobre o conceito de energia.
- Definir material que será utilizado no experimento.
- Fazer a aquisição do material que será utilizado no experimento.
- Obter as medidas do material para fazer a impressão das peças na impressora 3D e para cálculo dos dados necessários.
- Criar o circuito em série utilizado em conjunto com os sensores para obtenção dos dados.
- Implementar o método para obter os dados necessários.

4.2 EXECUÇÃO

- Montar o aparato experimental.
- Implementar método para obter os dados enviados pelos sensores.
- Implementar método para fazer os cálculos necessários.
- Testar a sensibilidade dos sensores na execução do experimento.
- Coletar dados gerados durante o experimento.
- Definir indicadores para validação dos dados obtidos.
- Gerar gráficos com os dados obtidos.

4.3 VALIDAÇÃO

Foram feitas diversas baterias de testes para o experimento, porém, por conta das inconsistências geradas foram selecionadas duas, uma sem o looping e outra com o looping. Com os resultados desses testes, foram calculados os dados de energia potencial gravitacional, energia cinética e velocidade, e assim comparados com os dados gerados apenas pela teoria.

Para validação do aparato experimental, os dados coletados na bateria de experimentos foram comparados com os resultados esperados conforme (Apêndice A).

A montagem dessa tabela foi feita com base nas formulas da teoria, conforme (Figura 8) e seus dados foram obtidos da seguinte forma:

- Inclinação (Porcentagem) - Obtido pela divisão da altura máxima (105cm a 55cm) pelo comprimento máximo (138,cm), conforme (Figura 9).
- Inclinação (Grau) - Obtido pelo arco tangente do valor numérico da porcentagem calculada anteriormente.
- Altura - A altura foi calculada com base em sua referência, que são as 5 medidas(105cm a 55cm) que podem ser alteradas, e as alturas dos sensores foram calculadas multiplicando a inclinação (porcentagem) pelo comprimento (comprimento máximo subtraído a distância entre a altura anterior e o sensor calculado).
- Comprimento - Comprimento referência é 138cm, mas para calcular a altura em que os sensores estão, o calculo é feito considerando o comprimento até onde o sensor calculado está posicionado.
- Energia Potencial Gravitacional - Obtida com base nos valores de massa, gravidade e altura, com base na teoria e para cada sensor.
- Energia Cinética - Obtida com base nos valores de massa e velocidade, com base na teoria e para cada sensor.
- Velocidade - Para obter a velocidade com base na teoria, ainda sem obtenção do tempo, foi utilizada a equação de Torricelli, que ao invés do tempo, utiliza a variação do espaço e a aceleração, sendo a aceleração obtida pela fórmula de aceleração de um plano inclinado sem atrito, independente de sua massa, conforme (FERRARO; SOARES, 1998).

O modelo e medidas dos carros utilizados podem ser visualizados na (Figura 10).

Figura 8 – Fórmulas utilizadas

Fórmulas Utilizadas	
Descrição	Fórmula
Energia Cinética	$(m.v^2)/2$
Energia Potencial Gravitacional	$m.g.h$
Inclinação	h/c
Velocidade	d/t
Equação de Torricelli	$v^2 = v_0^2 + 2.a.\Delta s$
Aceleração	$g.\text{sen}(x)$
Inclinação em Graus	$\arctan((h/c)/100)$

Fonte – Elaborada pelo autor

Figura 9 – Medidas dos carrinhos e da pista

TODAS AS MEDIDAS				
PISTA			CARROS	
DESCRIÇÃO	MEDIDA	UNIDADE	DESCRIÇÃO	MEDIDA UNIDADE
COMPRIMENTO PISTA TOTAL MENOR LADO	80,00	cm	MASSA DO CARRO 1 (Rally Cat)	35,00 g
COMPRIMENTO PISTA TOTAL MAIOR LADO	138,00	cm	COMPRIMENTO DO CARRO 1	7,60 cm
ALTURA PISTA TOTAL	105,00	cm	LARGURA DO CARRO 1	3,40 cm
ALTURA DO LOOPING	23,00	cm	MASSA DO CARRO 2 (Track Hammer)	32,10 g
DISTÂNCIA ENTRE SENSORES	41,00	cm	COMPRIMENTO DO CARRO 2	7,60 cm
LARGURA DA PISTA TOTAL	3,50	cm	LARGURA DO CARRO 2	3,10 cm
			MASSA DO CARRO 3 (Muscle Mania)	41,50 g
			COMPRIMENTO DO CARRO 3	8,20 cm
			LARGURA DO CARRO 3	3,20 cm
			MASSA DO CARRO 4 (HW Exotics)	33,00 g
			COMPRIMENTO DO CARRO 4	7,20 cm
			LARGURA DO CARRO 4	3,20 cm

Fonte – Elaborada pelo autor

Os primeiros carrinhos obtidos foram o carro 1, com o objetivo de ser mais lento por ser maior e o carro 2, com o objetivo de ser mais rápido pelo modelo ser parecido com os carros de corrida de fórmula 1. Ao serem feitos os primeiros testes com esses carrinhos, os resultados foram ao contrário do que se esperava. O carrinho 1 por ser mais pesado e maior, foi o mais veloz, enquanto que, o carrinho 2 por ser menor e mais leve, foi o mais lento. Com isso, foi decidido adquirir mais dois modelos de carrinho, o carrinho 3, pensando em ser mais veloz que o carrinho 1 e o carrinho 4, conversível, com o intuito de adicionar massa extra dentro do carro para assim analisar os resultados com as massas diferentes dos que já se tem.

Com todos os dados necessários calculados com base na teoria, é possível validar o aparato através da comparação entre os dados esperados e os dados obtidos pelo experimento.

Figura 10 – Medida e modelo dos carros



Fonte – Elaborada pelo autor

4.4 EXPERIMENTO

4.4.1 Material Utilizado

Lista com os materiais utilizados para montar o experimento.

Quadro 1 – Materiais utilizados para montar o aparato experimental

Quantidade	Material
1	Looping Fnj22 Hot Wheels
2	Kit de Pista Hot Wheels (cada kit contém 4 pistas)
4	Carro Hot Wheels
1	Kit Arduino (Montado)*
1	CI 555
10	Sensor Infravermelho (TCRCT5000)
10	Encaixe 3D para acoplar o sensor infravermelho na pista

Fonte – Elaborado pelo autor

*Importante ressaltar que o Kit Arduino foi montado e é composto por:

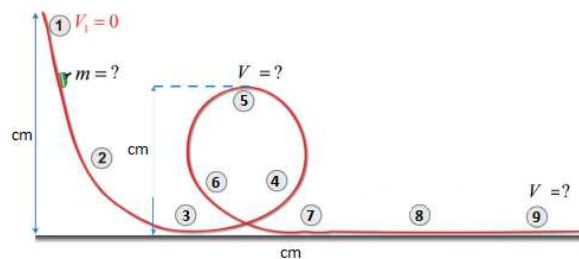
- 1x Arduino Uno Rev3
- 1x Protoboard 830
- 1x Cabo USB

Com base no (Quadro 1), o custo total dos materiais foi de R\$ 273,87, sendo que desse valor, R\$ 75,68 foi apenas de frete, já que a maioria dos materiais foram adquiridos pela internet.

4.4.2 Etapas do experimento

Com o aparato montado, a execução será iniciada ao soltar um carrinho de Hot Wheels¹ a partir de uma determinada altura e o mesmo percorrerá toda a pista, inclusive um loop², demonstrando a conversão da energia potencial gravitacional, empregado ao carrinho para que o mesmo comece a se mover, para cinética, que é gerada com o movimento do carrinho. Com isso poderá ser observado que quando a energia potencial é mínima, a cinética será máxima e de modo recíproco o inverso ocorrerá.

Figura 11 – Trajetória percorrida durante o experimento



Fonte – Elaborada pelo autor

Na (Figura 11) é mostrado uma representação do percurso que será percorrido durante o experimento. Começando da esquerda para a direita, foram distribuídos 9 sensores para detecção da passagem dos carrinhos. O aparato foi construído para ser possível alterar a altura do ponto de partida, podendo chegar no máximo a 105cm, conforme é possível visualizar na (Figura 12).

A pista tem 3,5cm de largura seu comprimento foi dividido em 3 partes para melhor distribuição:

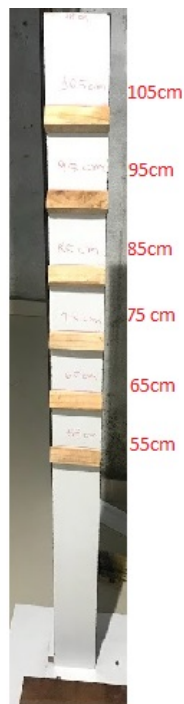
1. Parte que varia a altura, com 138cm de comprimento e altura podendo alterar entre 0 e 105cm.
2. Parte central contendo o loop, com 24,5cm de comprimento, 33cm de largura e 27cm de altura da base até o topo do loop.
3. Parte fixa e final da pista, com 80cm de comprimento.

Durante o processo do experimento foram obtidos os seguintes dados:

¹ Marca de carros de brinquedo americana que engloba modelos em miniatura feitos de metal injetado. Além de produzir carros, a Hot Wheels também produz pistas.

² Palavra inglesa, que significa 'laço', 'aro', 'anel', 'circuito'.

Figura 12 – Base do aparato com altura variável



Fonte – Elaborada pelo autor

- Energia potencial gravitacional

Para cálculo do valor da energia potencial gravitacional, com base em sua fórmula, foi necessário necessário obter a massa, altura e a gravidade.

1. A massa foi previamente obtida ao pesar os carrinhos e suas medidas podem ser observadas no (Apêndice C).
2. A gravidade já é definida em $9,807m/s^2$.
3. A altura da posição de cada sensor foi obtida utilizando uma trena.

- Energia cinética

Para cálculo do valor da energia cinética, com base em sua fórmula, foi necessário obter a massa e a velocidade do objeto.

1. A massa foi previamente obtida ao pesar os carrinhos e suas medidas podem ser observadas no (Apêndice C).
2. A velocidade foi calculada conforme sua fórmula, e os tempos foram obtidos na passagem dos carrinhos por cada sensor.

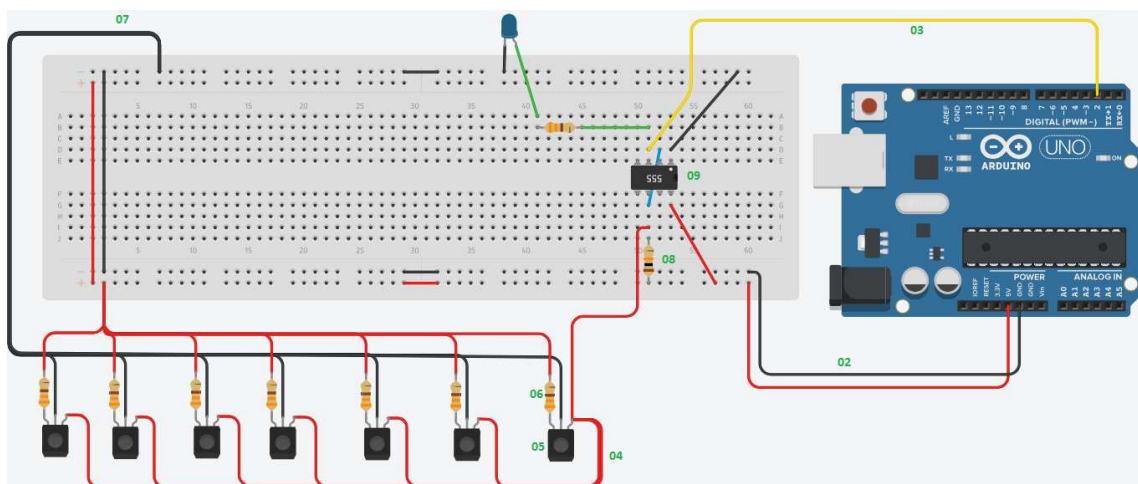
- Conservação de energia

Segundo a teoria da conservação de energia vista anteriormente, soma da energia potencial gravitacional mais a energia cinética deverá ser constante durante todo o percurso, apenas variando entre si.

4.4.2.1 Circuito Utilizado

Abaixo, segue um desenho de como os componentes foram montados e um diagrama representando o circuito montado.

Figura 13 – Desenho do circuito utilizado no experimento



Fonte – Elaborada pelo autor

Conforme demonstrado nas imagens (Figura 13) e (Figura 14), os sensores estão conectados da seguinte forma:

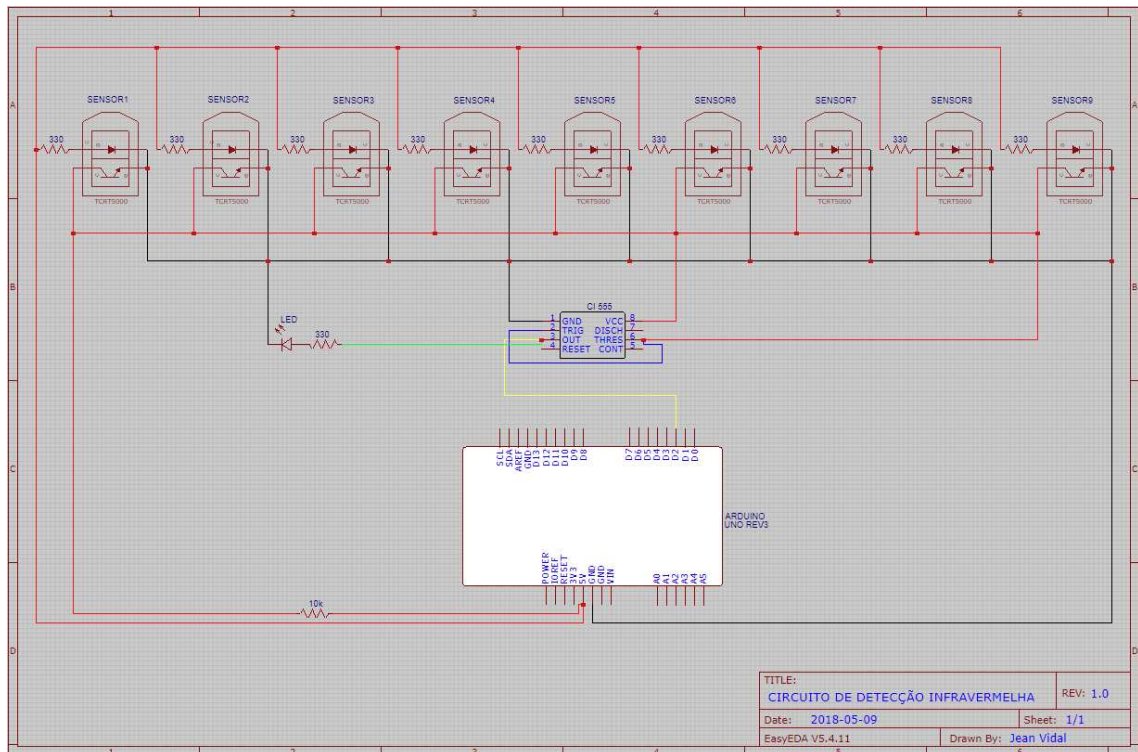
- Negativo do emissor e receptor do sensor infravermelho conectados ao GND³ do arduino e do CI⁴ 555 (Pino 1).
- Cada positivo do emissor conectado a um resistor de 330Ω, que por sua vez está conectado ao 5V do arduino.
- Positivos do receptor conectado a apenas um resistor de 10kΩ, que por sua vez está conectado ao 5V do arduino, e conectado ao pino 6 e 8(VCC⁵) do CI.

³ Terra/Negativo – Este pino deve estar sempre conectado ao terra da alimentação.

⁴ Circuito Integrado

⁵ Positivo – Este pino deve estar sempre conectado ao positivo da alimentação. A alimentação deve estar entre +5 e +15V.

Figura 14 – Diagrama do circuito utilizado no experimento



Fonte – Elaborada pelo autor

- Pino 3 do CI conectado ao pino 6 do mesmo.
- Pino 3 do CI conectado ao pino 2 do arduino.
- LED de um lado conectado ao mesmo GND utilizado pelos sensores, de outro, conectado a um resistor de 330Ω , que por sua vez está conectado ao pino 3 do CI.

4.4.2.2 Codificação no Arduino

Na plataforma arduino, é utilizado o (Código-fonte 1) para obter os dados dos sensores infravermelho. Este código fonte é aberto e está disponível na plataforma GitHub⁶, conforme Nunes (2018).

Código-fonte 1 – Código utilizado no Arduino

```

1   const byte ledPin = 13;
2   const byte sensorPin = 2;
3   volatile byte estado = HIGH;

```

⁶ Plataforma de hospedagem de código-fonte com controle de versão, que permite que programadores, utilitários ou qualquer usuário cadastrado na plataforma contribuam em projetos privados e/ou Open Source de qualquer lugar do mundo.

```
4 unsigned long tempoMicros;
5
6 void setup(){
7     Serial.begin(9600);
8     pinMode(ledPin, OUTPUT);
9     pinMode(sensorPin, INPUT);
10    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin),
11                    interrupcao, FALLING);
12
13 }
14
15 void loop() {
16     estado = digitalRead(sensorPin);
17     digitalWrite(ledPin, LOW);
18 }
19
20 void interrupcao(){
21     tempoMicros = micros();
22     digitalWrite(ledPin, HIGH);
23
24     Serial.print("Time Micros: ");
25     Serial.println(tempoMicros);
26     delay(1);
27 }
```

Existem 3 funções no (Código-fonte 1), que são:

- `setup()` - Usada para configurar o código inicial que será utilizado, ou seja, inicializar variáveis, definir o modo dos pinos, etc. Os códigos dentro do `setup` serão executados apenas uma vez no início do programa, conforme [arduino.cc \(2018e\)](#).
- `loop()` - Como o nome sugere, é uma função que será executada em loop, ou seja, repetidas vezes, executando o código contido dentro da função.
- `interrupcao()` - Função chamada pela interrupção, conforme [arduino.cc \(2018d\)](#).

Na linha 1, é setado a porta do LED comum para ser aceso ao detectarmos um objeto. Na linha 2, é setado a porta do pino para receber o sinal do fototransistor. Na linha 3, é utilizada para armazenar o estado do sensor. "Volatile" garante a existência da variável mesmo após a término de execução da rotina de interrupção.

Na função `setup()`, linha 6, define-se o pino do LED como saída e o pino do sensor como entrada. A interrupção utilizada é a "attachInterrupt", que conforme arduino.cc (2018b) recebe 3 parâmetros:

1. Pino de entrada de onde virá a interrupção.
2. Função que será chamado quando a interrupção ocorrer.
3. Modo de quando a interrupção deve ocorrer, setado como "FALLING", nesse caso é quando o estado do pino for de HIGH para LOW .

Na função `loop()`, linha 13, lê-se o estado do sensor (alto = inativo, baixo = ativo) e apaga o LED que indica a passagem do objeto pelo sensor.

5 RESULTADOS

Os primeiros testes foram feitos apenas com o carrinho 1 e os resultados obtidos apresentaram inconsistências ao detectar o tempo mais de uma vez o tempo no mesmo sensor que localizado no looping. Como pode ser visto no (Apêndice B), quanto maior foi a altura, maior foi a inconsistência gerada, além de ser possível observar uma instabilidade no looping durante a passagem do carrinho. O tempo estava sendo obtido em microssegundos e milissegundos, porém, para manter a maior precisão do tempo foi utilizado apenas o microssegundos.

Houve dificuldade de mobilidade do aparato experimental, que por conta do comprimento da pista ficou muito grande para movimentar. A solução foi tornar as partes mais acopláveis, utilizando dobradiças de porta para conectar (com parafusos) as bases das pistas com a base do looping. Desta forma, se tornou mais fácil montar e desmontar o aparato, já que a pista Hot Wheels também é desmontável.

As conexões dos sensores também foram um problema, pois estavam soldadas aos sensores, o que dificultava a desmontagem do aparato já que os fios estavam entrelaçando, eram pesados e estavam grandes. A solução foi utilizar fios de carregadores que são mais finos e leves, além de serem em par. O par de fios só foi separado nos locais onde se conectam aos sensores, sendo essa conexão feita utilizando jumpers¹ fêmea e na conexão dos fios com a protoboard foram utilizados jumpers machos.

Na (Figura 15), pode-se visualizar o aparato antes da execução dos planos de correção, com os problemas descritos acima.

A partir dos resultados apresentados no (Apêndice B), foram traçados dois planos para correção listados abaixo, e após a aplicação dessas soluções novos testes foram feitos.

1. Remover o looping.
2. Estabilizar o looping.

Além da aplicação das correções, as medidas de altura dos sensores foram refeitas com uma trena para que tenha uma precisão maior nos cálculos, ao invés do cálculo que era feito com inclinação e distância. Além disso, os sensores foram descolados considerando 10cm de distância da altura máxima até o primeiro sensor, pois, como os carrinhos tem comprimentos diferentes, essa distância foi a ideal para que todos estivessem antes do sensor quando fossem soltos. Os dados citados acima podem ser visualizados no (Apêndice C).

¹ Jumper é um pequeno condutor utilizado para conectar dois pontos de um circuito eletrônico.

Figura 15 – Aparato experimental antes dos planos de correção



Fonte – Elaborada pelo autor

Após a execução do plano 1, conforme pode ser visualizado na (Figura 16), foram feitos novos testes e apenas com os carrinhos 1 e 4, com 3 alturas (105cm, 95cm e 85cm), foi possível obter corretamente os dados, conforme (Apêndice D). Mesmo após a aplicar a solução, ainda foram geradas algumas inconsistências para os carrinhos 2 e 3, além das demais alturas. Essas instabilidades foram causadas pela vibração da pista e também pois há partes dos carrinhos que não refletem a luz infravermelha e portanto, os sensores deixam de detectar. A solução aplicada foi pintar os carrinhos com uma cor reflexiva, conforme (Figura 17).

Após a execução do plano 2, conforme pode ser visualizado na (Figura 18), foram feitos novos testes onde foi possível obter os dados de todos os carrinhos mas apenas em algumas alturas (95cm e 85cm), conforme (Apêndice D). Para as demais alturas ainda foram geradas inconsistências por conta da vibração na pista. Antes de obter os dados corretamente, foi necessário retirar dois sensores que estavam posicionados na entrada e na saída do looping, sensores 4 e 6 conforme (Figura 11), pois, estavam gerando inconsistências pela vibração do looping mesmo com a execução do plano de estabilização. O carrinho 2 caiu durante o looping

Figura 16 – Aparato experimental após execução do plano de correção 1



Fonte – Elaborada pelo autor

Figura 17 – Carrinhos pintados com spray cor metálica



Fonte – Elaborada pelo autor

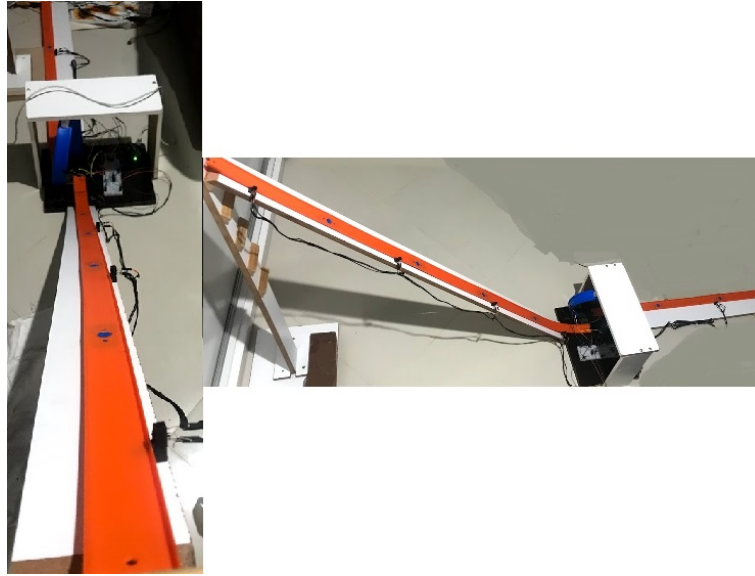
e não foi possível obter o restante dos dados desde a altura 55cm até 95cm. O carrinho 4 teve inconsistência pela vibração e não obteve todos os dados dos sensores na altura 85cm.

Com base nos resultados obtidos através da execução desses dois planos de correção, conforme (Apêndice D), e desconsiderando os dados que tiveram inconsistência, foram calculadas as velocidades em que os carrinhos obtiveram em cada sensor após os plano 1 e 2, conforme (Apêndice E).

Ao analisar esses resultados, pode-se observar que houveram inconsistências na obtenção dos tempos, casos em que o mesmo tempo foi detectado mais de uma vez, tornando o resultado da velocidade média nulo, quando dividido por zero ou resultados discrepantes, com velocidades muito altas para a sequência que estava sendo gerada. Em alguns casos o carro não teve energia suficiente para atravessar o looping e caiu durante a passagem.

Os resultados do cálculo da energia cinética e energia potencial gravitacional a partir dos dados coletados dos planos 1 e 2, podem ser visualizados no (Apêndice F).

Figura 18 – Aparato experimental após execução do plano de correção 2



Fonte – Elaborada pelo autor

No (Apêndice G), é mostrada a comparação entre os resultados obtidos e os resultados esperados com base na teoria. Esta comparação foi feita apenas com os resultados do cálculo das energias do plano 2, pois, era o que continha o looping, sendo esta a proposta inicial.

Analisando a (Figura 19), inicialmente pode-se observar uma diferença no sensor 1, pois, no cálculo dos resultados esperados, o sensor 1 foi considerado na altura máxima, porém, após o plano de correção, este sensor foi colocado 10cm de distância na altura máxima, conforme explicado anteriormente. Conforme a teoria da conservação de energia, a soma das energias potencial gravitacional e cinética devem se manter constantes durante todo o processo, o que não pode ser observado no cálculo dos dados esperados e nem nos obtidos. Essa diferença, ocorre pois, existem forças conservativas e forças dissipativas, a segunda sendo a que transforma a energia em outras formas de energia. No caso da diferença ser maior do que o valor inicial, pode-se atribuir ao cálculo com base na teoria, que contém dados que podem variar, tais como:

- Aceleração da gravidade que varia entre $9,789m/s^2$ no equador, até $9,823$ nos polos. Em alguns livros é considerado o valor de $10m/s^2$.
- Equação de Torricelli que calcula a velocidade sem a necessidade do tempo, porém, desconsidera a massa do objeto.

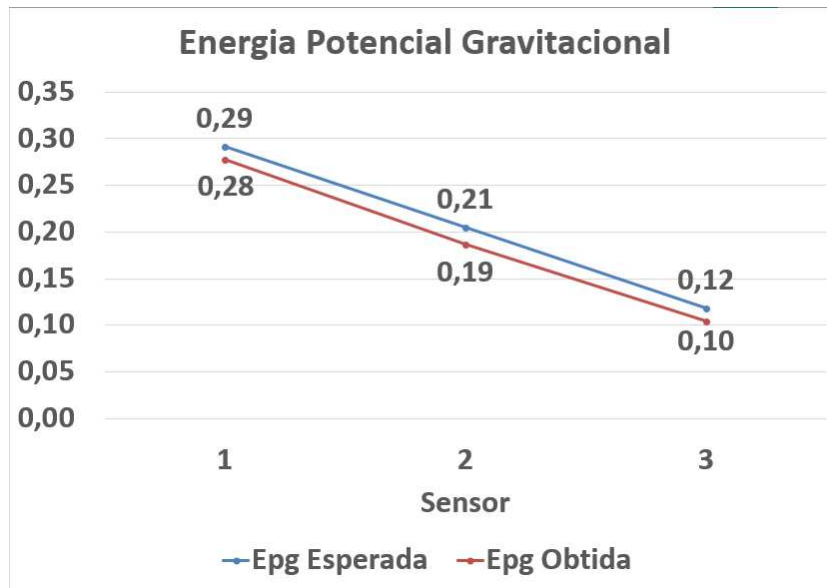
Pode-se ver a representação gráfica da (Figura 19) nas figuras (20), (21) e (22), que deixam mais claro a diferença entre os dados teóricos e os dados coletados via experimento.

Figura 19 – Análise de uma amostra dos dados

CARRO 1							
Sensor	Altura Referência	Ec Esperada	Ec Obtida	Epg Esperada	Epg Obtida	Velocidade Esperada	Velocidade Obtida
1	85,00	0,00	0,02	0,29	0,28	0,00	0,93
2	85,00	0,05	0,13	0,21	0,19	1,67	2,72
3	85,00	0,10	0,23	0,12	0,10	2,36	3,65

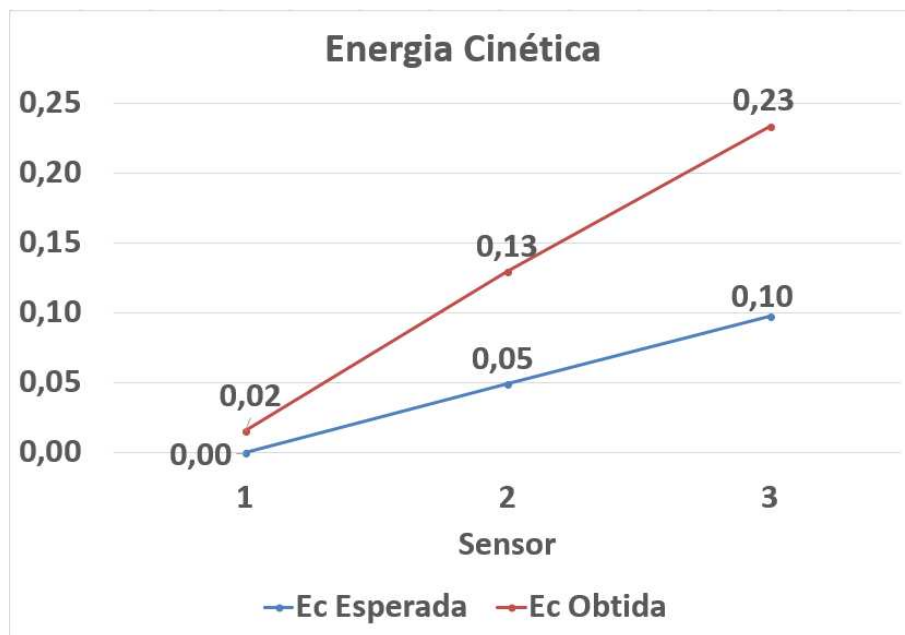
Fonte – Elaborada pelo autor

Figura 20 – Gráfico da comparação de energia potencial gravitacional

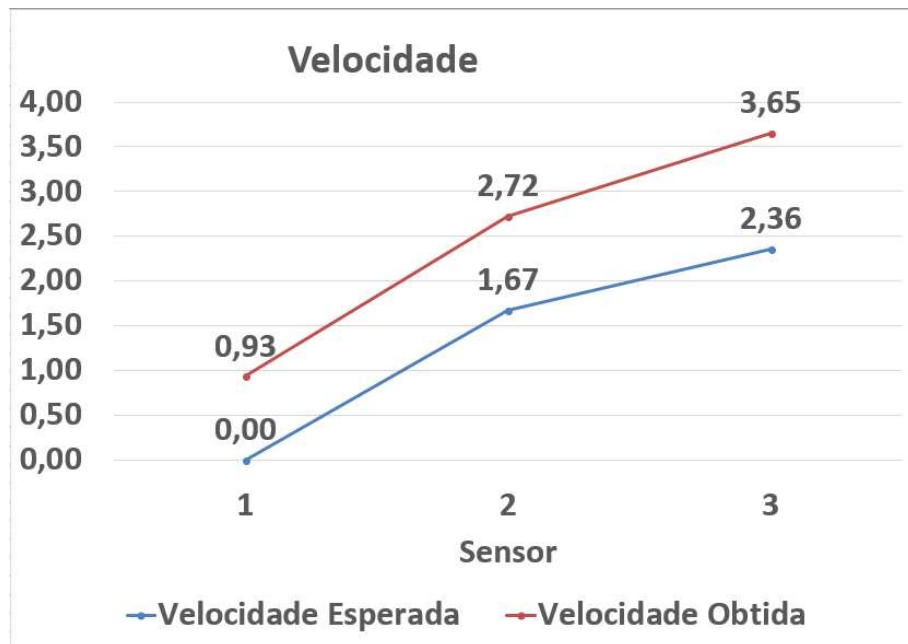


Fonte – Elaborada pelo autor

Figura 21 – Gráfico da comparação de energia cinética



Fonte – Elaborada pelo autor

Figura 22 – Gráfico da comparação de velocidade

Fonte – Elaborada pelo autor

Para os demais dados coletados, seguindo a mesma análise, observar-se que, desconsiderando os dados que estão inconsistentes, os demais valores estão próximos do esperado. Nesse caso, foram identificados alguns fatores que contribuiriam para a diferença entre os valores esperados e obtidos:

- Atrito - Foi desprezado nos cálculos.
- Resistência do ar - Foi desprezada nos cálculos.
- Conversão da energia - A energia potencial gravitacional pode ser convertida para outros tipos de energia além da cinética, por exemplo a energia sonora que foi identificada na execução deste experimento.
- Modo de soltar os carrinhos - Os carrinhos foram soltos de forma manual, porém, mesmo com toda a atenção para não influenciar no momento em que foram soltos, ainda há o risco de acontecer.
- Altura dos carrinhos - Os carrinhos tinham alturas diferentes e como o sensor estava em uma posição fixa, o momento da detecção do carrinho pode sofrer alteração, o que afeta diretamente os cálculos feitos.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

O presente trabalho foi realizado tendo por objetivo a construção e validação de um aparato experimental, motivado à contribuir automatizando o processo de obtenção de dados de hardware e software abertos, visando o baixo custo, para estudar de forma lúdica o problema da conversão de energia potencial gravitacional em cinética, como uma forma de criar uma ponte entre o cenário dos objetos concretos e o cenário dos conceitos e teorias da física direcionando o foco na análise do processo, nas variáveis e nos resultados, bem como, contribuir de forma interdisciplinar ao utilizar tecnologias como Arduino, Raspberry Pi e sensores infravermelho, para demonstrar conceitos e teorias de outras áreas do conhecimento. Com esse ambiente, torna-se mais fácil o envolvimento do aluno com todo o processo, permitindo-o manipular o aparato, alterando as alturas, os carrinhos e a massa do carrinho, observando as mudanças dos fenômenos estudados e como a sua manipulação influencia nesses fenômenos, tornando-o não apenas um observador, mas também, um agente influenciador no processo do experimento e ao final da experimentação, o aluno pode comparar os resultados obtidos no experimento com a teoria do conceito estudando. Com base na análise dos resultados pode-se concluir que:

- Foi possível a participação do indivíduo de forma ativa, mudando as alturas, os carrinhos e visualizando os resultados após as mudanças.
- A obtenção dos dados foi feita de forma rápida, se comparado a obtenção manual.
- Para determinadas alturas da pista e carrinhos, os dados não foram estáveis. Isso se dá, por vários fatores como: a vibração gerada na pista que é flexível, o que fez com que os sensores detectassem mais de uma vez o mesmo tempo ou até não detectasse por conta das partes do carrinho que não refletiam; a altura dos carrinhos que influencia no momento em que ele é detectado pelo sensor; e em outros casos, o carrinho não teve energia suficiente para passar pelo looping e caiu.

Desse modo, conclui-se que este trabalho teve seus objetivos alcançados e, do ponto de vista do ensino, é possível demonstrar o conceito estudado através de um experimento automatizado, de baixo custo e de forma lúdica. Vale ressaltar que sair do campo da teoria

e fazer um experimento didático, traz à tona dificuldades que não seriam possíveis de serem considerados apenas no campo teórico. Diferentemente dos trabalhos correlatos analisados, neste trabalho, foi possível deixar claro as dificuldades encontradas no processo de construção do aparato e na execução do experimento, além de demonstrar de forma lúdica os fatores que envolvem a conversão de energia, mostrando também o baixo custo dos componentes que foram utilizados.

6.2 LIMITAÇÕES

Este trabalho teve as seguintes fatores limitantes:

- A altura do experimento foi limitada em 6 diferentes alturas: 105cm, 95cm, 85cm, 75cm, 65cm e 55cm.
- Foram testados 4 carrinhos diferentes.
- O comprimento foi de 138cm em seu maior lado e de 80cm em seu menor lado.
- Foram distribuídos 9 sensores em toda a pista.

6.3 TRABALHOS FUTUROS

Após a conclusão deste trabalho, foi feita uma análise do aparato experimental visando identificar melhorias que diminuam as inconsistências geradas e melhorem a eficiência ao alcançar os objetivos. Os itens listados abaixo foram identificados neste processo de análise e são sugeridos como trabalho futuro:

- Mudar o posicionamento dos sensores para baixo ou para cima da pista, isso melhoraria o ponto de detecção do carro, além de evitar problemas com os fatores de altura dos carrinhos e instabilidade na detecção quando a pista vibra.
- Caso mantenha-se o posicionamento dos sensores, é viável estabilizar a pista e principalmente o looping, ou mudar a pista por outra menos flexível.
- Criar um mecanismo para soltar o carrinho automaticamente, sem que seja segurado pela mão, para evitar a influência de outra força que não seja a da gravidade.
- Pensando em identificar quais sensores foram acionados durante a passagem do carrinho, é importante modificar o circuito utilizado e a programação do arduino, para que assim seja possível identificar qual sensor disparou os tempos.

- Utilizar modo de comunicação via WiFi, ao invés da comunicação serial.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, M. S. T. d.; ABIB, M. L. V. d. S. O papel da experimentação no ensino da física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 20, n. 1, p. 0–0, 2003.
- ARDUINO.CC. Arduino uno rev3. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>> Acessado em: 24/03/2018, 2018.
- ARDUINO.CC. attachinterrupt. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/reference/pt/language/functions/external-interrupts/attachinterrupt/>> Acessado em: 18/06/2018, 2018.
- ARDUINO.CC. Introdução. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>> Acessado em: 24/03/2018, 2018.
- ARDUINO.CC. loop(). Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Reference/Loop/>> Acessado em: 04/07/2018, 2018.
- ARDUINO.CC. setup(). Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Reference/setup/>> Acessado em: 04/07/2018, 2018.
- ATMEL. **ATmega328/P - DataSheet Complete**. [S.l.]: Atmel, 2016. 0–0 p.
- BORGES, A. T.; GOMES, A. D. T. Percepção de estudantes sobre desenhos de testes experimentais. Caderno Brasileira de Ensino de Física, v. 22, n. 1, p. 0–0, 2005.
- BORGES, C. C.; DICKMAN, A. G.; VERTCHENKO, L. Uma aula sobre conversão de energia utilizando bicicleta, motor, alternador e lâmpada. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 40, n. 2, p. 0–0, 2017.
- CONCEIÇÃO, R. D. C. Um ambiente aberto baseado em microcontrolador para experimentos didáticos de física: Conversão fotovoltaica. Universidade do Estado da Bahia, 2017.
- FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. d. T. **Física Básica**. Volume Único. [S.l.]: Atual. São Paulo, 1998. 50–51,122–123,150–159 p. ISBN 9788570569621.
- MARQUES, G. d. C. **Dinâmica do Movimento dos Corpos - Energia Mecânica**. Módulo 1. [S.l.]: Licenciatura em Ciências. USP/Univesp., 2013. 0–0 p.
- MARTINS, N. A. **Sistemas microcontrolados: uma Abordagem com o Microcontrolador PIC 16F84**. 1. ed. [S.l.]: Novatec Editora. São Paulo, 2005. 0–0 p. ISBN 9788575220740.
- MCROBERTS, M. **Arduino básico**. [S.l.]: São Paulo: Novatec, 2011. 0–0 p. ISBN 9788575222744.
- MULTILOGICA. **Arduino: Guia Iniciante**. Versão 1.0. [S.l.: s.n.], 2014. 34 p.
- NUNES, J. V. Código fonte da automação para detecção infravermelha. Disponível em: <<https://github.com/LegolasDBA/codigo-fonte-automacao-tcc.git>> Acessado em: 28/06/2018, 2018.
- SANTOS, A. B. d.; BORGES, C. C.; GUIMARÃES, G. R.; AMARAL, G. K.; REGIS, M. D.; DICKMAN, A. G. Energia e suas transformações: uma discussão utilizando um experimento atrativo. XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, p. 0–0, 2007.

SERE, M.-G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. Atividades experimentais no ensino de física: Diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 25, n. 2, p. 0–0, 2003.

SIAS, D. B.; TEIXEIRA, R. M. R. Resfriamento de um corpo: a aquisição automática de dados propiciando discussões conceituais no laboratório didático de física no ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 23, n. 3, p. 0–0, 2006.

SILVA, R. C. B. D.; ANTONIO, W. L.; CORDEIRO, J. A.; SUNDHEIMER, M. L. Equipamento robótico para o estudo de cinemática. *Mostra Nacional de Robótica*, 2016.

SOUZA, F. Timers do atmega328 no arduino. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/timers-do-atmega328-no-arduino/>> Acessado em: 24/03/2018.

VILLANI, C. E. P.; NASCIMENTO, S. S. d. A argumentação e o ensino de ciências: Uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio. *Investigação em Ensino de Ciências*, v. 8, n. 3, p. 0–0, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resultado Esperado

Figura 23 – Resultados esperados para os carros

CARRO 1																					
INCLINAÇÃO (%)	INCLINAÇÃO (º)	(H) S1	(C) S1	(Ec) S1	[Epg] S1	(V) S1	(H) S2	(C) S2	(Ec) S2	[Epg] S2	(V) S2	(H) S3	(C) S3	(Ec) S3	[Epg] S3	(V) S3	(H) S4	(C) S4	(Ec) S4	[Epg] S4	(V) S4
76,09%	37,27	105,00	138,00	0,00	0,36	0,00	73,80	97,00	0,06	0,25	1,84	42,61	56,00	0,12	0,15	2,61	11,41	15,00	0,18	0,04	3,19
68,84%	34,54	95,00	138,00	0,00	0,33	0,00	66,78	97,00	0,05	0,23	1,76	38,55	56,00	0,11	0,13	2,49	10,33	15,00	0,16	0,04	3,04
61,59%	31,63	85,00	138,00	0,00	0,29	0,00	59,75	97,00	0,05	0,21	1,67	34,49	56,00	0,10	0,12	2,36	9,24	15,00	0,15	0,03	2,89
54,35%	28,52	75,00	138,00	0,00	0,26	0,00	52,72	97,00	0,04	0,18	1,57	30,43	56,00	0,09	0,10	2,22	8,15	15,00	0,13	0,03	2,72
47,10%	25,22	65,00	138,00	0,00	0,22	0,00	45,69	97,00	0,04	0,16	1,46	26,38	56,00	0,08	0,09	2,07	7,07	15,00	0,11	0,02	2,54
39,86%	21,73	55,00	138,00	0,00	0,19	0,00	38,66	97,00	0,03	0,13	1,35	22,32	56,00	0,06	0,08	1,91	5,98	15,00	0,10	0,02	2,34
CARRO 2																					
INCLINAÇÃO	INCLINAÇÃO (º)	(H) S1	(C) S1	(Ec) S1	[Epg] S1	(V) S1	(H) S2	(C) S2	(Ec) S2	[Epg] S2	(V) S2	(H) S3	(C) S3	(Ec) S3	[Epg] S3	(V) S3	(H) S4	(C) S4	(Ec) S4	[Epg] S4	(V) S4
76,09%	37,27	105,00	138,00	0,00	0,33	0,00	73,80	97,00	0,05	0,23	1,84	42,61	56,00	0,11	0,13	2,61	11,41	15,00	0,16	0,04	3,19
68,84%	34,54	95,00	138,00	0,00	0,30	0,00	66,78	97,00	0,05	0,21	1,76	38,55	56,00	0,10	0,12	2,49	10,33	15,00	0,15	0,03	3,04
61,59%	31,63	85,00	138,00	0,00	0,27	0,00	59,75	97,00	0,04	0,19	1,67	34,49	56,00	0,09	0,11	2,36	9,24	15,00	0,13	0,03	2,89
54,35%	28,52	75,00	138,00	0,00	0,24	0,00	52,72	97,00	0,04	0,17	1,57	30,43	56,00	0,08	0,10	2,22	8,15	15,00	0,12	0,03	2,72
47,10%	25,22	65,00	138,00	0,00	0,20	0,00	45,69	97,00	0,03	0,14	1,46	26,38	56,00	0,07	0,08	2,07	7,07	15,00	0,10	0,02	2,54
39,86%	21,73	55,00	138,00	0,00	0,17	0,00	38,66	97,00	0,03	0,12	1,35	22,32	56,00	0,06	0,07	1,91	5,98	15,00	0,09	0,02	2,34
CARRO 3																					
INCLINAÇÃO	INCLINAÇÃO (º)	(H) S1	(C) S1	(Ec) S1	[Epg] S1	(V) S1	(H) S2	(C) S2	(Ec) S2	[Epg] S2	(V) S2	(H) S3	(C) S3	(Ec) S3	[Epg] S3	(V) S3	(H) S4	(C) S4	(Ec) S4	[Epg] S4	(V) S4
76,09%	37,27	105,00	138,00	0,00	0,43	0,00	73,80	97,00	0,07	0,30	1,84	42,61	56,00	0,14	0,17	2,61	11,41	15,00	0,21	0,05	3,19
68,84%	34,54	95,00	138,00	0,00	0,39	0,00	66,78	97,00	0,06	0,27	1,76	38,55	56,00	0,13	0,16	2,49	10,33	15,00	0,19	0,04	3,04
61,59%	31,63	85,00	138,00	0,00	0,35	0,00	59,75	97,00	0,06	0,24	1,67	34,49	56,00	0,12	0,14	2,36	9,24	15,00	0,17	0,04	2,89
54,35%	28,52	75,00	138,00	0,00	0,31	0,00	52,72	97,00	0,05	0,21	1,57	30,43	56,00	0,10	0,12	2,22	8,15	15,00	0,15	0,03	2,72
47,10%	25,22	65,00	138,00	0,00	0,26	0,00	45,69	97,00	0,04	0,19	1,46	26,38	56,00	0,09	0,11	2,07	7,07	15,00	0,13	0,03	2,54
39,86%	21,73	55,00	138,00	0,00	0,22	0,00	38,66	97,00	0,04	0,16	1,35	22,32	56,00	0,08	0,09	1,91	5,98	15,00	0,11	0,02	2,34
CARRO 4																					
INCLINAÇÃO	INCLINAÇÃO (º)	(H) S1	(C) S1	(Ec) S1	[Epg] S1	(V) S1	(H) S2	(C) S2	(Ec) S2	[Epg] S2	(V) S2	(H) S3	(C) S3	(Ec) S3	[Epg] S3	(V) S3	(H) S4	(C) S4	(Ec) S4	[Epg] S4	(V) S4
76,09%	37,27	105,00	138,00	0,00	0,34	0,00	73,80	97,00	0,06	0,24	1,84	42,61	56,00	0,11	0,14	2,61	11,41	15,00	0,17	0,04	3,19
68,84%	34,54	95,00	138,00	0,00	0,31	0,00	66,78	97,00	0,05	0,22	1,76	38,55	56,00	0,10	0,12	2,49	10,33	15,00	0,15	0,03	3,04
61,59%	31,63	85,00	138,00	0,00	0,28	0,00	59,75	97,00	0,05	0,19	1,67	34,49	56,00	0,09	0,11	2,36	9,24	15,00	0,14	0,03	2,89
54,35%	28,52	75,00	138,00	0,00	0,24	0,00	52,72	97,00	0,04	0,17	1,57	30,43	56,00	0,08	0,10	2,22	8,15	15,00	0,12	0,03	2,72
47,10%	25,22	65,00	138,00	0,00	0,21	0,00	45,69	97,00	0,04	0,15	1,46	26,38	56,00	0,07	0,09	2,07	7,07	15,00	0,11	0,02	2,54
39,86%	21,73	55,00	138,00	0,00	0,18	0,00	38,66	97,00	0,03	0,13	1,35	22,32	56,00	0,06	0,07	1,91	5,98	15,00	0,09	0,02	2,34

LEGENDA
 S = Sensor
 H = Altura
 C = Comprimento
 V = Velocidade
 Ec = Energia Cinética
 Epg = Energia Potencial Gravitacional

Fonte – Elaborada pelo autor

APÊNDICE C – Medidas Após Correções

Figura 24 – Altura dos sensores após correções

ALTURA DOS SENSORES COM LOOPING									
REFERÊNCIA	INCLINAÇÃO(%)	INCLINAÇÃO(º)	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4	SENSOR 5	SENSOR 6	SENSOR 7
105,00	76,09%	37,27 º	101,00	68,00	36,00	5,00	22,00	0,00	0,00
95,00	68,84%	34,54 º	91,00	61,00	32,00	5,00	22,00	0,00	0,00
85,00	61,59%	31,63 º	81,00	54,50	30,50	4,50	22,00	0,00	0,00
75,00	54,35%	28,52 º	71,00	48,00	24,50	4,00	22,00	0,00	0,00
65,00	47,10%	25,22 º	61,00	41,00	21,50	4,00	22,00	0,00	0,00
55,00	39,86%	21,73 º	51,50	34,50	18,00	3,50	22,00	0,00	0,00

ALTURA DOS SENSORES SEM LOOPING									
REFERÊNCIA	INCLINAÇÃO(%)	INCLINAÇÃO(º)	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4	SENSOR 5	SENSOR 6	
105,00	76,09%	37,27 º	101,00	68,00	36,00	5,00	5,00	31,00	
95,00	68,84%	34,54 º	91,00	61,00	32,00	5,00	5,00	31,00	
85,00	61,59%	31,63 º	81,00	54,50	30,50	4,50	5,00	31,00	
75,00	54,35%	28,52 º	71,00	48,00	24,50	4,00	5,00	31,00	
65,00	47,10%	25,22 º	61,00	41,00	21,50	4,00	5,00	31,00	
55,00	39,86%	21,73 º	51,50	34,50	18,00	3,50	5,00	31,00	

Fonte – Elaborada pelo autor

Figura 25 – Distância entre os sensores após correções

DISTÂNCIA ENTRE SENSORES (COM LOOPING)	CM
TOPO - SENSOR 1	10,00
SENSOR 1 - SENSOR 2	41,00
SENSOR 2 - SENSOR 3	41,00
SENSOR 3 - SENSOR 4	41,00
SENSOR 4 - SENSOR 5	49,00
SENSOR 5 - SENSOR 6	49,00
SENSOR 6 - SENSOR 7	41,00

DISTÂNCIA ENTRE SENSORES (SEM LOOPING)	CM
TOPO - SENSOR 1	10,00
SENSOR 1 - SENSOR 2	41,00
SENSOR 2 - SENSOR 3	41,00
SENSOR 3 - SENSOR 4	41,00
SENSOR 4 - SENSOR 5	24,00
SENSOR 5 - SENSOR 6	41,00

Fonte – Elaborada pelo autor

Figura 26 – Medidas após correções

TODAS AS MEDIDAS					
PISTA			CARROS		
DESCRIÇÃO	MEDIDA	UNIDADE	DESCRIÇÃO	MEDIDA	UNIDADE
COMPRIMENTO PISTA TOTAL MENOR LADO	80,00	cm	MASSA DO CARRO 1 (Rally Cat)	35,00	g
COMPRIMENTO PISTA TOTAL MAIOR LADO	138,00	cm	COMPRIMENTO DO CARRO 1	7,60	cm
ALTURA PISTA TOTAL	105,00	cm	LARGURA DO CARRO 1	3,40	cm
ALTURA DO LOOPING	23,00	cm	MASSA DO CARRO 2 (Track Hammer)	32,10	g
LARGURA DA PISTA TOTAL	3,50	cm	COMPRIMENTO DO CARRO 2	7,60	cm
DISTÂNCIA ENTRE ALTURA MÁXIMA E SENSOR 1	10,00	cm	LARGURA DO CARRO 2	3,10	cm
			MASSA DO CARRO 3 (Muscle Mania)	41,50	g
			COMPRIMENTO DO CARRO 3	8,20	cm
			LARGURA DO CARRO 3	3,20	cm
			MASSA DO CARRO 4 (HW Exotics)	33,00	g
			COMPRIMENTO DO CARRO 4	7,20	cm
			LARGURA DO CARRO 4	3,20	cm

Fonte – Elaborada pelo autor

APÊNDICE D – Resultados Após Correções

Figura 27 – Resultado do teste após plano de correção 1

CARRO 1				CARRO 4		
SENSOR	105cm	95cm	85cm	SENSOR	105cm	95cm
1	1370954260	2157623180	2210924648	1	985124200	1974291784
	1371024048	2157701052	2211000820		985182312	1974349864
2	1371209036	2157901424	2211206488	2	985379144	1974562560
	1371235268	2157928068	2211235404		985404120	1974581064
3	1371349024	2158049660	2211363360	3	985524924	1974710324
	1371368752	2158070696	2211384416		985542688	1974728156
4	1371459332	2158167700	2211486620	4	985640520	1974831772
	1371475196	2158183200	2211504028		985653288	1974843908
5	1371552316	2158391940	2211727628	5	985892960	1974937548
	1371552776	2158393352	2211745424		985894692	1974938992
6	1371552904	2158396184	2211748908	6	985895876	1975083440
	1371553800	2158397724	2211755948		985895944	1975107012

Fonte – Elaborada pelo autor

Figura 28 – Resultado do teste após plano de correção 2

CARRO 1			CARRO 3			CARRO 4		
SENSOR	95cm	85cm	SENSOR	95cm	85cm	SENSOR	95cm	85cm
1	354536564	1471319876	1	540019672	2265181812	1	261391532	2651626736
	354735364	1471401408		540247496	2265288868		261413304	2651870744
2	354761836	1471612576	2	540392304	2265498228	2	268166164	2652025320
	354884712	1471640496		540488544	2265532680		268213192	2652134324
3	354905416	1471769184	3	540490600	2265686460	3	268449256	2652147776
	355003696	1471790000		540490760	2265810224		268596724	2652362260
4	355005236	1472033916	4	540490760	2265936628	4	268598260	2652646760
	355005252	1472035500		540490764	2265939220		268696736	2652649596
5	355005448	1472034824	5	540572508	2265954748	5	268698280	2652676568
	355005448	1472034824		540582772	2265970036		268710244	2652986668
6	355096668	1472034824	6	540599276	2266132120	6	268890672	
	355102600	1472056968		540781356	2266164160		268892996	
7	355416476	1472325500	7	540933692	2266311036	7	268904728	
	355438088	1472352860		540965724	2266345092		269510884	

Fonte – Elaborada pelo autor

APÊNDICE E – Cálculos de Velocidade Após Correções

Figura 29 – Cálculo da velocidade dos resultados após o plano de correção 1

CARRO 1 - ALTURA 105cm					
SENSOR	TEMPO 1 (μ s)	TEMPO 2 (μ s)	ΔT (μ s)	TAMANHO CARRINHO (cm)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
1	1370954260	1371024048	69788	7,6	1,09
2	1371209036	1371235268	26232	7,6	2,90
3	1371349024	1371368752	19728	7,6	3,85
4	1371459332	1371475196	15864	7,6	4,79
5	1371552316	1371552776	460	7,6	165,22
6	1371552904	1371553800	896	7,6	84,82
CARRO 1 - ALTURA 95cm					
SENSOR	TEMPO 1 (μ s)	TEMPO 2 (μ s)	ΔT (μ s)	TAMANHO CARRINHO (cm)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
1	2157623180	2157701052	77872	7,6	0,98
2	2157901424	2157928068	26644	7,6	2,85
3	2158049660	2158070696	21036	7,6	3,61
4	2158167700	2158183200	15500	7,6	4,90
5	2158391940	2158393352	1412	7,6	53,82
6	2158396184	2158397724	1540	7,6	49,35
CARRO 1 - ALTURA 85cm					
SENSOR	TEMPO 1 (μ s)	TEMPO 2 (μ s)	ΔT (μ s)	TAMANHO CARRINHO (cm)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
1	2210924648	2211000820	76172	7,6	1,00
2	2211206488	2211235404	28916	7,6	2,63
3	2211363360	2211384416	21056	7,6	3,61
4	2211486620	2211504028	17408	7,6	4,37
5	2211727628	2211745424	17796	7,6	4,27
6	2211748908	2211755948	7040	7,6	10,80
CARRO 4 - ALTURA 105cm					
SENSOR	TEMPO 1 (μ s)	TEMPO 2 (μ s)	ΔT (μ s)	TAMANHO CARRINHO (cm)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
1	985124200	985182312	58112	7,2	1,24
2	985379144	985404120	24976	7,2	2,88
3	985524924	985542688	17764	7,2	4,05
4	985640520	985653288	12768	7,2	5,64
5	985892960	985894692	1732	7,2	41,57
6	985895876	985895944	68	7,2	N/A
CARRO 4 - ALTURA 95cm					
SENSOR	TEMPO 1 (μ s)	TEMPO 2 (μ s)	ΔT (μ s)	TAMANHO CARRINHO (cm)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
1	1974291784	1974349864	58080	7,2	1,24
2	1974562560	1974581064	18504	7,2	3,89
3	1974710324	1974728156	17832	7,2	4,04
4	1974831772	1974843908	12136	7,2	5,93
5	1974937548	1974938992	1444	7,2	49,86
6	1975083440	1975107012	23572	7,2	3,05

Fonte – Elaborada pelo autor

Figura 30 – Cálculo da velocidade dos resultados após o plano de correção 2

CARRO 1 - ALTURA 95cm					
SENSOR	TEMPO 1 (μ s)	TEMPO 2 (μ s)	ΔT (μ s)	TAMANHO CARRINHO (cm)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
1	354536564	354735364	198800	7,6	0,38
2	354761836	354884712	122876	7,6	0,62
3	354905416	355003696	98280	7,6	0,77
4	355005236	355005252	16	7,6	N/A
5	355005448	355005448	0	7,6	N/A
6	355096668	355102600	5932	7,6	12,81
7	355416476	355438088	21612	7,6	3,52
CARRO 1 - ALTURA 85cm					
SENSOR	TEMPO 1 (μ s)	TEMPO 2 (μ s)	ΔT (μ s)	TAMANHO CARRINHO (cm)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
1	1471319876	1471401408	81532	7,6	0,93
2	1471612576	1471640496	27920	7,6	2,72
3	1471769184	1471790000	20816	7,6	3,65
4	1472033916	1472035500	1584	7,6	47,98
5	1472034824	1472034824	0	7,6	N/A
6	1472034824	1472056968	22144	7,6	3,43
7	1472325500	1472352860	27360	7,6	2,78
CARRO 4 - ALTURA 95cm					
SENSOR	TEMPO 1 (μ s)	TEMPO 2 (μ s)	ΔT (μ s)	TAMANHO CARRINHO (cm)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
1	261391532	261413304	21772	7,2	3,31
2	268166164	268213192	47028	7,2	1,53
3	268449256	268596724	147468	7,2	0,49
4	268598260	268696736	98476	7,2	0,73
5	268698280	268710244	11964	7,2	6,02
6	268890672	268892996	2324	7,2	30,98
7	268904728	269510884	606156	7,2	0,12
CARRO 4 - ALTURA 85cm					
SENSOR	TEMPO 1 (μ s)	TEMPO 2 (μ s)	ΔT (μ s)	TAMANHO CARRINHO (cm)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
1	2651626736	2651870744	244008	7,2	0,30
2	2652025320	2652134324	109004	7,2	0,66
3	2652147776	2652362260	214484	7,2	0,34
4	2652646760	2652649596	2836	7,2	25,39
5	2652676568	2652986668	310100	7,2	0,23
6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
CARRO 3 - ALTURA 95cm					
SENSOR	TEMPO 1 (μ s)	TEMPO 2 (μ s)	ΔT (μ s)	TAMANHO CARRINHO (cm)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
1	540019672	540247496	227824	8,2	0,36
2	540392304	540488544	96240	8,2	0,85
3	540490600	540490760	160	8,2	N/A
4	540490760	540490764	4	8,2	N/A
5	540572508	540582772	10264	8,2	7,99
6	540599276	540781356	182080	8,2	0,45
7	540933692	540965724	32032	8,2	2,56
CARRO 3 - ALTURA 85cm					
SENSOR	TEMPO 1 (μ s)	TEMPO 2 (μ s)	ΔT (μ s)	TAMANHO CARRINHO (cm)	VELOCIDADE MÉDIA (m/s)
1	2265181812	2265288868	107056	8,2	0,77
2	2265498228	2265532680	34452	8,2	2,38
3	2265686460	2265810224	123764	8,2	0,66
4	2265936628	2265939220	2592	8,2	31,64
5	2265954748	2265970036	15288	8,2	5,36
6	2266132120	2266164160	32040	8,2	2,56
7	2266311036	2266345092	34056	8,2	2,41

Fonte – Elaborada pelo autor

APÊNDICE F – Cálculo de Energias Após Correções

Figura 31 – Cálculo das energias após o plano de correção 1

CARRO 1				
Sensor	Altura Referência	Energia Cinética	Energia Potencial Gravitacional	Velocidade
1	105,00	0,02	0,35	1,09
2	105,00	0,15	0,23	2,90
3	105,00	0,26	0,12	3,85
4	105,00	0,40	0,02	4,79
5	105,00	N/A	0,02	N/A
6	105,00	125,91	0,11	84,82
1	95,00	0,02	0,28	0,98
2	95,00	0,14	0,19	2,85
3	95,00	0,23	0,10	3,61
4	95,00	0,42	0,02	4,90
5	95,00	50,70	0,02	53,82
6	95,00	42,62	0,11	49,35
1	85,00	0,02	0,24	1,00
2	85,00	0,12	0,16	2,63
3	85,00	0,23	0,08	3,61
4	85,00	0,33	0,01	4,37
5	85,00	0,32	0,02	4,27
6	85,00	2,04	0,11	10,80

CARRO 4				
Sensor	Altura Referência	Energia Cinética	Energia Potencial Gravitacional	Velocidade
1	105,00	0,03	0,33	1,24
2	105,00	0,14	0,22	2,88
3	105,00	0,27	0,12	4,05
4	105,00	0,52	0,02	5,64
5	105,00	28,51	0,02	41,57
6	105,00	N/A	0,10	N/A
1	95,00	0,03	0,29	1,24
2	95,00	0,25	0,20	3,89
3	95,00	0,27	0,10	4,04
4	95,00	0,58	0,02	5,93
5	95,00	41,02	0,02	49,86
6	95,00	0,15	0,10	3,05

Fonte – Elaborada pelo autor

Figura 32 – Cálculo das energias após o plano de correção 2

CARRO 1				
Sensor	Altura Referência	Energia Cinética	Energia Potencial Gravitacional	Velocidade
1	95,00	0,00	0,31	0,38
2	95,00	0,01	0,21	0,62
3	95,00	0,01	0,11	0,77
4	95,00	N/A	0,02	N/A
5	95,00	N/A	0,08	N/A
6	95,00	2,87	0,00	12,81
7	95,00	0,22	0,00	3,52
1	85,00	0,02	0,28	0,93
2	85,00	0,13	0,19	2,72
3	85,00	0,23	0,10	3,65
4	85,00	40,29	0,02	47,98
5	85,00	N/A	0,08	N/A
6	85,00	0,21	0,00	3,43
7	85,00	0,14	0,00	2,78

CARRO 4				
Sensor	Altura Referência	Energia Cinética	Energia Potencial Gravitacional	Velocidade
1	95,00	0,18	0,29	3,31
2	95,00	0,04	0,20	1,53
3	95,00	0,00	0,10	0,49
4	95,00	0,01	0,02	0,73
5	95,00	0,60	0,07	6,02
6	95,00	15,84	0,00	30,98
7	95,00	0,00	0,00	0,12
1	85,00	0,00	0,26	0,30
2	85,00	0,01	0,18	0,66
3	85,00	0,00	0,10	0,34
4	85,00	10,63	0,01	25,39
5	85,00	0,00	0,07	0,23
6	N/A	N/A	N/A	N/A
7	N/A	N/A	N/A	N/A

CARRO 3				
Sensor	Altura Referência	Energia Cinética	Energia Potencial Gravitacional	Velocidade
1	95,00	0,00	0,37	0,36
2	95,00	0,02	0,25	0,85
3	95,00	N/A	0,13	N/A
4	95,00	N/A	0,02	N/A
5	95,00	1,32	0,09	7,99
6	95,00	0,00	0,00	0,45
7	95,00	0,14	0,00	2,56
1	85,00	0,01	0,33	0,77
2	85,00	0,12	0,22	2,38
3	85,00	0,01	0,12	0,66
4	85,00	20,77	0,02	31,64
5	85,00	0,60	0,09	5,36
6	85,00	0,14	0,00	2,56
7	85,00	0,12	0,00	2,41

Fonte – Elaborada pelo autor

APÊNDICE G – Comparação de Resultados

Figura 33 – Comparação dos resultados obtidos X resultados esperados

CARRO 1							
Sensor	Altura Referência	Ec Esperada	Ec Obtida	Epg Esperada	Epg Obtida	Velocidade Esperada	Velocidade Obtida
1	95,00	0,00	0,00	0,33	0,31	0,00	0,38
2	95,00	0,05	0,01	0,23	0,21	1,76	0,62
3	95,00	0,11	0,01	0,13	0,11	2,49	0,77
4	95,00	0,16	N/A	0,04	0,02	3,04	N/A
1	85,00	0,00	0,02	0,29	0,28	0,00	0,93
2	85,00	0,05	0,13	0,21	0,19	1,67	2,72
3	85,00	0,10	0,23	0,12	0,10	2,36	3,65
4	85,00	0,15	40,29	0,03	0,02	2,89	47,98
CARRO 3							
Sensor	Altura Referência	Ec Esperada	Ec Obtida	Epg Esperada	Epg Obtida	Velocidade Esperada	Velocidade Obtida
1	95,00	0,00	0,00	0,39	0,37	0,00	0,36
2	95,00	0,06	0,02	0,27	0,25	1,76	0,85
3	95,00	0,13	N/A	0,16	0,13	2,49	N/A
4	95,00	0,19	N/A	0,04	0,02	3,04	N/A
1	85,00	0,00	0,01	0,35	0,33	0,00	0,77
2	85,00	0,06	0,12	0,24	0,22	1,67	2,38
3	85,00	0,12	0,01	0,14	0,12	2,36	0,66
4	85,00	0,17	20,77	0,04	0,02	2,89	31,64
CARRO 4							
Sensor	Altura Referência	Ec Esperada	Ec Obtida	Epg Esperada	Epg Obtida	Velocidade Esperada	Velocidade Obtida
1	95,00	0,00	0,18	0,31	0,29	0,00	3,31
2	95,00	0,05	0,04	0,22	0,20	1,76	1,53
3	95,00	0,10	0,00	0,12	0,10	2,49	0,49
4	95,00	0,15	0,01	0,03	0,02	3,04	0,73
1	85,00	0,00	0,00	0,28	0,26	0,00	0,30
2	85,00	0,05	0,01	0,19	0,18	1,67	0,66
3	85,00	0,09	0,00	0,11	0,10	2,36	0,34
4	85,00	0,14	10,63	0,03	0,01	2,89	25,39

Fonte – Elaborada pelo autor