



UNIVERSIDADE  
FEDERAL  
DE PERNAMBUCO

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**

**CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE**

**NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE**

**FÍSICA-LICENCIATURA**

**A Correlação de Modelos Teóricos em Física e Atividades  
Experimentais como forma Investigativa das Concepções  
Epistemológicas de Estudantes do Curso de Física-  
Licenciatura**

**Paula Juliane Nascimento da Silva**

**Orientador: Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira**

**Caruaru, Fevereiro de 2017**



UNIVERSIDADE  
FEDERAL  
DE PERNAMBUCO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE

FÍSICA-LICENCIATURA

**A Correlação de Modelos Teóricos em Física e Atividades Experimentais como forma Investigativa das Concepções Epistemológicas de Estudantes do Curso de Física-Licenciatura**

**Paula Juliane Nascimento da Silva**

Monografia apresentada ao Curso de Física-Licenciatura do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como uma das atividades avaliativas da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador: Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira

Caruaru, Fevereiro de 2017

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Simone Xavier CRB/4 - 1242

S586c Silva, Paula Juliane Nascimento da.

A correlação de modelos teóricos em Física e atividades experimentais como forma investigativa das concepções epistemológicas de estudantes do curso de Física-Licenciatura. / Paula Juliane Nascimento da Silva. – 2017.

61f. ; 30 cm.

Orientador: Augusto César Lima Moreira

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Licenciatura em Física, 2017.

Inclui Referências.

1. Epistemologia. 2. Física – Estudo e ensino. 3. Física teórica. I. Moreira, Augusto César Lima. (Orientador).

371.12 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2017-034)



Campus  
AGRESTE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
GRADUAÇÃO EM FÍSICA – LICENCIATURA

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA NA  
DISCIPLINA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

## PAULA JULIANE NASCIMENTO DA SILVA

### Título

*“A Correlação de Modelos Teóricos em Física e Atividades Experimentais Como Forma Investigativa das Concepções Epistemológicas de Estudantes do Curso de Física-Licenciatura”*

A comissão examinadora composta pelos professores: **AUGUSTO CÉSAR LIMA MOREIRA**, NICIT/UFPE; **KÁTIA CALLIGARIS RODRIGUES**, NFD/UFPE e **PAULO HENRIQUE RIBEIRO PEIXOTO**, NFD/UFPE sob a presidência do primeiro, consideram o graduando **PAULA JULIANE APROVADO**.

---

**PAULO HENRIQUE RIBEIRO PEIXOTO**  
Coordenador do curso de Física –Licenciatura.

---

**AUGUSTO CÉSAR LIMA MOREIRA**  
Orientador e 1º Examinador

---

**KÁTIA CALLIGARIS RODRIGUES**

2º Examinador

Caruaru, 16 de fevereiro de 2017.

*À pessoa que mais cuidou de mim,  
minha avó, Maria Elvira (In  
memoriam).*

*Tudo que sou hoje é graças à  
senhora, que me ensinou a andar por  
bons caminhos, incentivando-me a  
ser forte e lutar pelos meus sonhos.  
Peço a Deus que lhe retribua tudo  
que fez por mim.*

*Ao meu pai, Ildo Bizarria.  
Que além de pai amoroso é um  
grande amigo conselheiro.  
Obrigada por apoiar-me nas minhas  
escolhas e ser um dos grandes  
responsáveis por essa conquista.*

*Ao meu amor, Henrique Patriota.  
Que me faz feliz nos mais pequenos  
gestos.  
A paz e o amor que há em nós me faz  
pensar que o nosso amor é para  
sempre.  
Você é um grande presente de Deus  
na minha vida.*

## Agradecimentos

- Primeiramente, agradeço a Deus pela proteção, pelas oportunidades de superação e por me conceder essa grande vitória.
- Agradeço ao meu Orientador, Prof. Augusto César Lima Moreira, por me ajudar a tornar essa monografia possível. Pela paciência durante esses anos de orientação e pelos ensinamentos que deixam valiosas contribuições para eu querer seguir a vida acadêmica.
- A todos os professores do Núcleo de Formação Docente que contribuíram na minha formação acadêmica, em especial à Profa. Kátia Calligaris, Prof. Paulo Peixoto, Prof. João L. Freitas, Prof. Luís Leão, Prof. Ernesto Valdes e Profa. Fabiana Costa.
- As amizades construídas ao longo da graduação que ajudaram a colorir o caminho acadêmico, dentre elas: Edgar Gomes, Gladistony Lins, Nicodemos Paiva e Tais Silva.
- Aos meus familiares, em especial, a minha mãe, aos meus tios maternos, à minha tia Joseane Elvira (tia Jô) e meu primo Vinícius.
- Às minhas duas sogras, Aldira e Dona Dulce, e ao meu cunhado, Ellyakim pelo carinho e apoio de sempre.
- À PROAS, pela a oportunidade de poder me dedicar apenas aos estudos, em especial, à Assistente Social Patrícia Costa e à Psicóloga Luana Leite.
- Ao PIDID-FÍSICA, por proporcionar experiências na área de Ensino de Física.
- À FACEPE, em especial à Profa. Dra. Iranete Lima, pela grande oportunidade de fazer Iniciação Científica e conhecer um pouco do universo da pesquisa acadêmica.
- E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação acadêmica.

# A Correlação de Modelos Teóricos em Física e Atividades Experimentais como forma Investigativa das Concepções Epistemológicas de Estudantes do Curso de Física-Licenciatura

Autora: Paula Juliane Nascimento da Silva

Orientador: Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira

## Resumo

É possível que haja conflitos sobre o que é real e o que é ideal em física, visto que é comum fazer analogias de conteúdos físicos com situações reais. Tal prática deixa implícito que o estudo da realidade começa com idealizações, que são dotadas de modelos teóricos intrinsecamente incompletos quando comparados com situações supostamente reais. Em vista disso, investigamos as possíveis concepções epistemológicas de estudantes do segundo e oitavo períodos do Curso de Física-Licenciatura segundo a essência do conhecimento, formulando categorias de *realismo natural*, *idealismo* e *realismo crítico/fenomenalismo*. Para análise, apresentamos um modelo teórico e o experimento que o representa, comparamos os resultados teóricos e experimentais e levamos os estudantes a indagações reflexivas diante de resultados discrepantes. Como resultado, a investigação mostrou que a maioria dos estudantes, tanto do segundo período quanto do oitavo período, possuem concepção de realismo crítico/fenomenalismo atribuindo o modelo teórico ser incompleto ou que o experimento que se refere a realidade possui elementos que a priori não sabiam determinar.

**Palavras-chaves:** epistemologia, modelos teóricos, experimentação, categorização, Ensino de Física.

# Sumário

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO .....	11
1.1 Organização da Monografia .....	13
CAPÍTULO 2: REVISÃO DE LITERATURA .....	14
2.1 Visões epistemológicas relativas ao realismo, idealismo e fenomenalismo.....	16
2.2 Definição de Objetos Modelos e Modelos Teóricos em Física .....	21
2.3 Possíveis Correlações entre epistemologia de Bunge (1974) e as categorias de Hessen da essência do conhecimento.....	22
CAPÍTULO 3: ESTUDO DA MÁQUINA DE ATWOOD À LUZ DA SEGUNDA LEI DE NEWTON E ATRAVÉS DO <i>SOFTWARE TRACKER</i> .....	25
3.1 A Segunda Lei de Newton para Rotação como Modelo Teórico à Máquina de Atwood.....	25
3.1.1 Problema .....	26
3.2 A utilização do Tracker como ferramenta para a coleta de dados experimentais .....	29
CAPÍTULO 4: METODOLOGIA.....	34
CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	37
CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS .....	46
6.1 Proposta para Trabalhos Futuros .....	47

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	49
APÊNDICE A.....	51
APLICAÇÃO DA SEGUNDA LEI DE NEWTON PARA ROTAÇÃO À MÁQUINA DE ATWOOD.....	51
APÊNDICE B.....	56
QUESTIONÁRIO APLICADO AO SEGUNDO E OITAVO PERÍODO DE FÍSICA-LICENCIATURA.....	56

# Capítulo 1

## Introdução

Em aulas de física é comum o professor relacionar os conteúdos vistos em sala de aula com acontecimentos do cotidiano, uma prática de ensino que tem como finalidade a construção do conhecimento. Segundo Junges (2011) essa prática é muito presente nas aulas de Física, nos livros textos e em discursos de professores e estudantes, mas que pode causar confusão no estudante e levar a falsas concepções. Outra forma de relacionar Física com o cotidiano ocorre através da contextualização que segundo (BRASIL, 2000, p.81), é definida pelas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM) como um recurso para tornar a aprendizagem significativa.

No entanto a Física é uma ciência que parte da idealização da realidade e possui modelos teóricos que apenas através de analogias ou contextualizados, podem levar o estudante a acreditar que a física é uma descrição completa da realidade na qual ele está inserido. Tal fato, pode limitar a capacidade do estudante em questionar os modelos teóricos apresentados nos livros e, conseqüentemente, pode acabar por induzir a crença de que todos os modelos teóricos da física são objetos reais, independente da razão humana. Assim, não se leva em conta que o estudo de um objeto da realidade começa com idealizações, que são representações estabelecidas na consciência para tentar apreender um objeto da realidade. Para Bunge (1974), no processo de idealização de um objeto (concreto), extraem-se os traços comuns de indivíduos (diferentes) e negligenciam-se numerosos traços desses indivíduos para então, agrupá-los em classes de equivalência. Pode-se também adicionar nestes indivíduos elementos hipotéticos (não mensuráveis), mas com uma intenção realista. Cargas pontuais, planetas perfeitamente esféricos, pontos materiais, dentre outros, são exemplos de objetos-modelo comumente encontrados em física. Então, partindo-se do objeto-modelo, cria-se um modelo teórico, o qual

corresponde a teoria do objeto. É esse modelo teórico que será confrontado com a realidade.

Diante disso, relacionar os modelos teóricos com situações da realidade requer por parte do professor um conhecimento mais aprofundado em epistemologia, uma vez que, a ideia de objeto da realidade, não condiz intrinsecamente com a ideia de objeto-modelo. O laboratório de física, ou o uso apenas em caráter demonstrativo de experimentos em sala de aula, se bem direcionados podem acarretar em questionamentos que fomentem a discussão epistemológica, e assim, podendo levar o estudante a pensar na física como uma ciência, baseada em teorias e modelos, que buscam a compreensão da natureza.

Desse modo, pretendemos investigar as concepções epistemológicas de estudantes do curso de Física-Licenciatura da UFPE-CAA. Para isso, precisamos identificar como eles correlacionam teoria e realidade, segundo as visões de essência do conhecimento. Segundo Hessen (1999) essas visões são chamadas de: realismo (ingênuo, natural e crítico), que atribui a existência de coisas reais independentes da consciência. Idealismo, com a existência de objeto apenas na consciência, objetos ideais, ou seja, os modelos teóricos em físicas são representações de objetos-modelo que são estruturados na consciência do sujeito. Por último, o conceito de fenomenalismo, que concorda em parte com o realismo e em parte com o idealismo. Trata-se de uma postura teórica que se sustenta na existência de coisas reais, porém vai ao encontro com o idealismo, fundamentando que não é capaz de explicar a realidade existente na consciência. Diante disso, este trabalho tem como objetivo geral:

- Investigar as possíveis concepções epistemológicas de estudantes de Física-Licenciatura a partir de uma correlação entre modelos teóricos e atividades experimentais.

Além disso, definimos como objetivos específicos:

- a) Elaborar o experimento da máquina de Atwood e reproduzir o modelo teórico que o representa;

- b) Comparar os resultados obtidos com o modelo teórico e com o experimento, como forma de levantar reflexões sobre possíveis discrepâncias.

## 1.1 Organização da Monografia

Esta monografia encontra-se dividida em seis capítulos, em que o primeiro é esta introdução. Os demais estão organizados conforme o que segue:

- Capítulo 2 – Revisão de Literatura: este capítulo contempla discussões acerca das visões epistemológicas abarcadas por Hessen (1999) e conceitos sobre teoria e realidade segundo Mario Bunge (1974).
- Capítulo 3 – Estudo da Máquina de Atwood à luz da Segunda Lei Newton e Através do *software* Tracker: nesse capítulo é mostrado o modelo teórico usado neste trabalho. Além disso, é apresentado o uso do *software* Tracker como uma ferramenta para a obtenção dos resultados experimentais.
- Capítulo 4 – Metodologia: nesse capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos para coleta e análise dos dados;
- Capítulo 5 – Resultados: nesse capítulo são mostrados os resultados alcançados com a proposta de investigação epistemológica desenvolvida nesta Monografia;
- Capítulo 6 – Conclusão e Perspectivas: nesse capítulo final são apresentadas as contribuições desta Monografia e sugerida uma proposta de trabalho futuro.

## Capítulo 2

### Revisão de Literatura

Neste capítulo apresentamos uma revisão de literatura acerca das principais teorias que fundamentam esta monografia. Apresentamos os cinco problemas do conhecimento científico aprofundando-se sobre a essência do conhecimento (Hessen, 1999). Apresentamos também a relação entre teoria e realidade abordados por Bunge (1974) e sua epistemologia segundo a essência do conhecimento.

A teoria do conhecimento é uma teoria que busca interpretar e explicar filosoficamente o conhecimento humano, buscando refletir sobre as diferentes posturas epistemológicas. Nesse sentido, as posturas epistemológicas acerca de algum fenômeno que é observado e examinado cautelosamente. Segundo Hessen (1999, p. 17):

A teoria do conhecimento, como o nome já diz, é uma teoria, isto é, uma interpretação e uma explicação filosóficas do conhecimento humano. Antes, porém, de filosofar sobre um objeto, é necessário examina-lo com exatidão. Qualquer explicação ou interpretação deve ser precedida de uma observação e de uma descrição exatas do objeto.

A reflexão filosófica de um objeto e sua respectiva explicação, não pode ser feita de qualquer maneira. “Devemos pois apreender com um olhar penetrante e descrever com exatidão esse fenômeno peculiar de consciência que chamamos de conhecimento” (HESSEN, 1999, P. 17), ou seja, na construção do conhecimento humano, está encerrada na forma como o objeto é observado e analisado, sendo a relação sujeito-objeto a base das discussões abordadas na teoria do conhecimento em seus cinco problemas:

- i. A possibilidade do conhecimento, que apesar de haver diferentes perfis epistemológicos, defende que o conhecimento é possível;
- ii. A origem do conhecimento, apresentando a experiência-consciência como formas para obter o conhecimento;
- iii. A essência do conhecimento que aborda o problema da relação entre objeto-sujeito e sobre as soluções pré-metafísicas e metafísicas;
- iv. Os tipos de conhecimento, abordando sobre o intuicionismo e;
- v. O critério da verdade, que estabelece critérios de verdade para obtenção de juízos verdadeiros.

Neste trabalho, é traçado o perfil epistemológico acerca da essência do conhecimento que, para resolver o problema do conhecimento pela relação entre objeto e sujeito, são utilizadas, dentre outras, soluções pré-metafísicas e metafísicas. Nas quais o conhecimento pode ser dado tanto pelo objeto (objetivismo) quanto pelo sujeito (Subjetivismo) e soluções metafísicas relativas ao realismo (ingênuo, natural e crítico), idealismo e fenomenalismo.

Do ponto de vista do objetivismo, o conhecimento do objeto ocorre pela forma como o mesmo se apresenta para o sujeito. Em outras palavras, o conhecimento da natureza pelo homem se dá pela forma como ela se apresenta, ou seja, o sujeito (o homem) aparece como passivo e o objeto (a natureza) é quem determina o conhecimento. Hessen (1999, p. 51) define o objetivismo tal como:

Segundo o objetivismo, o elemento decisivo na relação de conhecimento é o objeto. O objeto determina o sujeito. Este deve ajustar-se àquele. O sujeito, de certo modo, incorpora, copia as determinações do objeto. Isso pressupõe que o objeto se coloque diante da consciência cognoscente como algo pronto, em si mesmo determinado.

Do ponto de vista do subjetivismo, o conhecimento está voltado para o sujeito. “O subjetivismo, ao contrário, tenta ancorar o conhecimento humano no sujeito. Desloca o mundo das ideias, essa encarnação dos princípios do conhecimento, para o sujeito” (HESSEN, 1999, p. 52). Ou seja, conhecimento é algo a ser apreendido pelo sujeito, um ser capaz de dominar suas observações e percepções acerca do objeto, construindo ativamente o conhecimento. Além disso, o conhecimento pode ser adquirido relativamente a um sujeito em

específico. Isso significa, segundo Hessen (1999), que as observações e percepções ocorrem devido às interpretações e compreensões de um sujeito em específico. Essa relação de dualidade do conhecimento que ocorre entre o objetivismo e subjetivismo formulam as soluções pré-metafísicas. Mostram a dependência entre o objeto e sujeito, no qual o objeto pode ser real ou ideal, ficando a depender do ponto de vista que se adotar para a determinação do conhecimento: se pelo objeto ou sujeito.

A próxima seção deste capítulo, tratará das soluções metafísicas que, segundo Hessen (1999), são visões epistemológicas denominadas por: realismo (ingênuo, natural e crítico), idealismo e fenomenalismo, que versam sobre diferentes concepções de mundo a partir da relação entre o objeto-sujeito.

## **2.1 Visões epistemológicas relativas ao realismo, idealismo e fenomenalismo**

Descrever os fenômenos da natureza é algo que a ciência busca incessantemente. No entanto, os fenômenos naturais possuem elementos intrinsecamente complexos para a compreensão humana. Devido a essa complexidade, historicamente, buscou-se o estudo da natureza por meio de idealização dos fenômenos e, a partir de então, tornou-se possível o conhecimento científico de situações supostamente reais.

Diante disso, utilizamos como categorias de análise, as visões epistemológicas discutidas por Hessen (1999) relativas à essência do conhecimento: realismo (ingênuo, natural e crítico), idealismo, e fenomenalismo. O conceito de **realismo** fala sobre a existência de coisas reais independente da consciência (HESSEN, 1999), dividindo-se em realismo ingênuo, natural e crítico. Para o **realismo ingênuo** não existe o problema sujeito e objeto, como também, não há reflexão epistemológica. Ou seja, o sujeito acredita que o objeto possui características e propriedades independente dele. Como por exemplo,

As cores que vemos nas coisas estão-lhes afixadas como qualidades objetivas. O mesmo vale para seu gosto e seu odor, sua dureza e sua

maciez, etc. Todas essas propriedades convêm às coisas objetivamente e independente da consciência que as percebe. (HESSEN, 1999, p. 53)

No **realismo natural** o conhecimento acontece devido a uma comunicação com a consciência através dos sentidos, que são as ferramentas básicas de representação e construção do objeto na estrutura cognitiva. Porém, não ocorre uma leitura reflexiva e aprofundada da consciência relativa as propriedades ou características do objeto, a consciência apenas percebe as propriedades pelos sentidos mas não faz um processamento do que seja essas propriedades. Segundo Hessen (1999, p. 54)

Sustenta que os objetos correspondem a exatamente aos conteúdos perceptivos. Para o defensor do realismo natural é absurdo admitir que o sangue não seja vermelho, que o açúcar não seja doce e que vermelho e doce devam existir apenas em minha consciência.

Uma concepção de realismo natural, seria aquela que argumenta sobre o experimento e suas propriedades, mas sem pronunciar reflexivamente sobre a física que envolve a atividade experimental. Como por exemplo, seria absurdo não admitir que, em um sistema composto por uma roldana e dois corpos de massas diferentes, que os corpos movem-se aceleradamente no sentido do corpo de maior massa. Visto que massas, forças, leis da dinâmica, são propriedades do objeto e não conceitos desenvolvidos por Newton. Dessa forma, as explicações do sujeito estariam focadas no que é perceptível através dos sentidos, ou seja, como sendo propriedades dos objetos e não como sendo algo que se percebe através da consciente.

Em contraposição ao realismo natural e ingênuo, está o **realismo crítico** caracterizado por apoiar-se em reflexões crítico-epistêmicas. É o tipo de realismo que dá ao sujeito condições de perceber o objeto com propriedades mais enriquecidas, uma vez que as propriedades dos objetos são construídas e representadas na consciência do sujeito que os percebe.

A terceira forma de realismo é o realismo crítico. Ele se chama crítico por apoiar-se em reflexões crítico-epistêmicas. Segundo ele, nem todas as propriedades presentes nos conteúdos perceptivos convêm às coisas. Muito pelo contrário, as propriedades ou qualidades da coisa apreendidas por nós apenas por meio de um sentido, como cores, sons, odores, sabores, etc., existem apenas e tão-somente em nossa consciência. Elas surgem na medida em que certos estímulos externos atuam sobre nossos órgãos sensíveis. (HESSEN, 1999, p. 54)

Podemos relacionar esta visão epistemológica a exemplos de física onde o sujeito faz observações mais cautelosas. Como exemplo, ao considerar o aumento na aceleração produzido pelo sistema citado anteriormente, a mesma pode estar relacionada com fatores que não tenham sido considerados durante a formulação do modelo conceitual referente ao experimento, tais como: o momento de inércia da roldana, a massa da corda, resistência do ar, entre outros. Outro exemplo é a curvatura do espaço-tempo abordado pela teoria da relatividade geral, em que Einstein considera uma deformação do espaço-tempo como sendo uma propriedade do objeto real. O modelo teórico é construído por meio do que é percebido, podendo não ser, necessariamente, uma propriedade do objeto mas imposta pela consciência de que essa propriedade possa existir, ao mesmo tempo, associando essa percepção a algo real no objeto. Em suma, na concepção do realismo, os objetos possuem propriedades que são considerados reais, independente da consciência. Mesmo se tratando de um sujeito com pensamentos críticos, o realista acredita que a teoria pode descrever a natureza em sua essência, visto que mesmo para o realista crítico, algumas propriedades que não são perceptíveis aos sentidos, são tidas como sendo perceptível pela consciência cognoscente<sup>1</sup>.

Enquanto essência, em oposição à epistemologia do realismo, tem-se o **idealismo**. Este defende a ideia do objeto existir apenas na consciência do sujeito, estabelecendo apenas a existência de objetos idealizados. Nesse sentido, se o sujeito deixar de idealizar um objeto, o mesmo deixa de existir na consciência cognoscente do indivíduo.

Não há coisas reais independentes da consciência. Como, após a supressão das coisas reais, só restam dois tipos de objeto, a saber, os existentes na consciência (representações, sentimentos) e os ideais (objetos da lógica e da matemática), [...]. (HESSEN, 1999, p. 58).

Na concepção do idealista, não há realidade que seja independente do sujeito, ou seja, tudo que existe é idealizado pela consciência. O conhecimento relativo ao objeto é restrito pelo sujeito em específico

---

<sup>1</sup> Consciência cognoscente. Que tem a capacidade de adquirir conhecimento.

(representações, sentimentos) ou do psicológico, em que o objeto é encerrado como um ser lógico-ideal tais como os objetos da lógica e da matemática.

Em meio aos conceitos epistemológicos de realismo e idealismo, está a concepção de **fenomenalismo** que, segundo Hessen (1999), concorda em parte com o realismo e em parte com o idealismo. É uma postura teórica que se aproxima do realismo crítico, porém, também vai ao encontro com o idealismo, fundamentando que o sujeito não é capaz de conhecer a essência dos objetos, ou seja:

É a teoria segundo a qual não conhecemos as coisas como são, mas como nos aparecem. Certamente existem coisas reais, mas não somos capazes de conhecer sua essência. Só podemos conhecer o "quê" das coisas, mas não o seu "o quê. [...] Podemos apresentar seu núcleo por meio de três proposições: 1. A coisa-em-si é incognoscível. 2. Nosso conhecimento está limitado ao mundo fenomênico. 3. Esse mundo surge em minha consciência porque ordenamos e processamos o material sensível segundo as formas a priori da intuição e do entendimento. (HESSEN, 1999, p.62 e 63, Grifos do autor)

Um exemplo físico para a concepção fenomenológica, pode ser dito, quando o sujeito explica que: o aumento da aceleração do sistema pode ter sido ocasionado devido a propriedades que não são conhecidas, por fatores que vão além do campo perceptível de sua consciência. Um outro exemplo para melhor compreensão dessa postura epistemológica, ocorre no poço de potencial infinito abordado na mecânica quântica, onde a trajetória da partícula é incognoscível<sup>2</sup>, visto que pode se saber a probabilidade de encontrar a partícula em uma certa posição mas não se tem o conhecimento sobre sua trajetória. Nessa perspectiva, o fato de conhecer o objeto na forma como se apresenta, com suas características, não significa conhecer coisas intrínsecas ao objeto: a sua essência. Diante disso, atividades que possibilitam formular questões sobre a essência do conhecimento, contribuem para um pensamento crítico e reflexivo acerca de conceitos físicos. A Tabela 2.1 mostra as ideias principais das soluções metafísicas do problema.

---

<sup>2</sup> Consciência incognoscível. Considera que não é possível conhecer da coisa em si.

**Tabela 2.1:** Soluções metafísicas do problema

Soluções metafísicas		Ideias Principais
<b>Realismo</b>	Ingênuo	Os objetos são reais independentes da consciência. Não há definição da relação sujeito-objeto.
	Natural	Os objetos correspondem exatamente ao que é percebido.
	Crítico	Os objetos não correspondem exatamente ao que é percebido. Mas o que é percebido está associado a uma propriedade real do objeto.
<b>Idealismo</b>		O objeto existe apenas na consciência do sujeito. Estabelece apenas objetos idealizados
<b>Fenomenalismo</b>		Os objetos não correspondem exatamente ao que é percebido. Mas o que é percebido pode estar na consciência incognoscível por não se conhecer a essência do objeto.

Como podemos perceber na Tabela 2.1, há uma certa semelhança de ideias entre o realismo crítico e o fenomenalismo. Para ambos, propriedades do objeto podem ser percebidas pela consciência através da forma como o mesmo se apresenta. No entanto, para a concepção de fenomenalismo pode ocorrer das propriedades do objeto serem incognoscíveis por não se conhecer a essência desse objeto. Segundo Hessen (1999, p. 63), para entender melhor o fenomenalismo, pode-se fazer uma comparação com o realismo crítico:

Se quisermos aclarar esta teoria, o melhor é partir de uma comparação entre o fenomenalismo e o realismo crítico. Este, como já vimos, também ensina que as coisas não são tais como nós as percebemos. As qualidades sensíveis secundárias como cores, odores, sabores, etc., não convêm, segundo a teoria do realismo crítico, às próprias coisas, mas surgem apenas em nossa consciência.

Em consequência dessa certa paridade epistemológica, durante a análise deste trabalho, vamos considerar essas duas visões como se tratando apenas de uma categoria descritiva. Considerando que se tratam de estudantes ainda em formação acadêmica, com ideias sendo formuladas.

No próximo tópico apresentamos o conceito de modelo teórico em física, bem como os conceitos de objetos da realidade (objeto concreto) e objetos-modelos.

## **2.2 Definição de Objetos Modelos e Modelos Teóricos em Física**

Compreendendo que o estudo da realidade começa através de idealizações previamente formuladas, a construção de um objeto-modelo e de um modelo teórico é essencial para a apreensão dessa realidade. Nesse sentido, precisamos compreender o que são esses termos utilizados no método científico. Segundo Bunge (1974), o objeto-modelo é criado quando o estudo da realidade parte da esquematização de situações supostamente reais, que se pretende modelar, extraindo do fenômeno de estudo, coisas diferentes e acrescentando hipóteses precisas.

Extraem-se os traços comuns de indivíduos ostensivamente diferentes, agrupando-os em espécies (classes de equivalência). [...] É o nascimento do objeto modelo ou modelo conceitual de uma coisa ou de um fato. É preciso, em suma, imaginar um objeto dotado de certas propriedades que, amiúde, não serão sensíveis. Sabe-se que o modelo conceitual negligenciará numerosos traços da coisa e afastará as características que individualizam os objetos. Cargas pontuais, planetas perfeitamente esféricos, pontos materiais, dentre outros, são exemplos de objetos-modelo comumente encontrados em física. (BUNGE, 1974, p.13, 14),

Criado o objeto-modelo, é necessário inseri-lo em uma teoria geral, na qual explique, conceitualmente e matematicamente, o seu significado físico. Feito isso, obtém-se um modelo teórico que corresponde à “teoria do objeto-modelo”. De acordo com Bunge (1974), um modelo teórico é um sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto modelo, que é, por sua vez, uma representação conceitual esquemática de uma coisa ou de uma situação real ou suposta como tal. É ele, o modelo teórico, que será confrontado com a realidade. Como por exemplo, BUNGE, 1974, p. 16) discute que,

Não basta esquematizar um líquido como uma rede de moléculas ou um cérebro como uma rede de neurônios: é preciso descrever tudo isso em detalhe e de acordo com as leis gerais conhecidas. Em outros termos, é necessário construir uma teoria do objeto modelo – em suma, um modelo teórico.

Além disso, ainda segundo Bunge (1974), se precisar que o modelo teórico vá além da explicação para o objeto modelo, pode-se acrescentar elementos de acaso que complicam o objeto modelo e torna-o cada vez mais

complexo. Assim, o modelo teórico que corresponde a uma teoria geral, passa a ser uma teoria específica para descrever algum fenômeno. Como exemplo, as leis de Newton são teorias da mecânica e são válidas para determinados objetos-modelos. A Tabela 2.2 apresenta alguns exemplos de modelos teóricos e seus respectivos objetos-modelos em física.

**Tabela 2.2:** Exemplos de objetos-modelos e modelos teóricos em física.

<b>Teoria Geral</b>	<b>Objeto-Modelo</b>	<b>Modelo Teórico</b>
Termodinâmica	Gás-Ideal	Teoria Cinética dos Gases
Mecânica Clássica	Máquina de Atwood	Segunda lei de Newton para rotações.
Mecânica Quântica	Partícula no poço de potencial infinito	Solução da equação de Schrodinger

Abarcados sobre os conceitos de objetos-modelos e modelos teóricos, na próxima seção analisaremos as possíveis correlações entre a epistemologia de Bunge e as visões epistemológicas referentes à essência do conhecimento.

### **2.3 Possíveis Correlações entre epistemologia de Bunge (1974) e as categorias de Hessen da essência do conhecimento**

Enfatizamos em tópicos anteriores sobre as soluções metafísicas, que segundo Hessen (1999), são classificadas como visões epistemológicas descritas como realismo, idealismo e fenomenalismo. Falamos também, sobre a teoria de Bunge (1974) relativa à definição de objetos-modelos e modelos teóricos. Nesta seção, buscamos unir essas duas teorias embarcados na filosofia segundo a qual, a física teórica é uma ciência baseada em modelos teóricos que buscam representar os fenômenos da natureza a partir de idealizações, tornando possível a ocorrência de um conflito entre o fenômeno real e o “ideal”.

Como já visto anteriormente, objetos-modelos são construídos a partir da observação crítica acerca de objetos da realidade e por meio de algumas suposições a fim de obter um objeto-modelo dotado de propriedades reais e propriedades necessariamente idealizadas. Ao inserir o objeto-modelo em uma teoria geral obtém-se o modelo teórico que, por meio de elementos teóricos descreve o objeto-modelo e, finalmente, é o modelo teórico que pode ser usado como uma explicação à suposta realidade.

Nesse sentido, temos três fatores a serem considerados na teoria de Bunge. O primeiro fator, mostra a realidade sendo representada como um objeto concreto. O segundo, estabelece que o objeto-modelo se refere ao objeto concreto, mas possui propriedades que a princípio não existiam e, terceiro, modelos teóricos versam sobre objetos-modelos. Porém, um modelo teórico também é usado como um meio para tentar explicar o objeto concreto. Isso significa, basicamente, que a teoria não consegue descrever o objeto concreto em essência, pois a realidade (objeto concreto) possui propriedades que não são sensíveis ao modelo teórico e, com isso, o modelo teórico pode até tentar explicar o objeto concreto utilizando-se do objeto-modelo, porém não é capaz de explicar a essência desses objetos concretos.

Em essência, dizemos que a visão epistemológica de Bunge está para o fenomenalismo, uma vez que os modelos teóricos não conseguem penetrar e explicar o que é o objeto da realidade, tratando-se de uma teoria que mistura fatores da realidade e fatores idealizados pelo sujeito para se obter um modelo teórico com hipóteses previamente formuladas para explicar objetos supostamente reais. Essa é a posição epistemológica de Bunge, mas pode variar de cientista para cientista. A seguir temos um exemplo de duas posições epistemológicas de grandes cientistas da mecânica quântica:

- **Neils Bohr** – Para ele, o vetor de estado  $|\Psi\rangle$  é uma modelagem para a realidade. Desse ponto de vista, Bohr se mostra um cientista de postura fenomenalista. Isso porque ele não acredita que a função de onda (ou vetor de estado) seja uma descrição da realidade, porque mesmo sendo um modelo teórico que funciona bem, possui elementos incognoscíveis à sua percepção. Segundo Penrose (1998, p. 84):

Bohr sem dúvida acreditava na mecânica quântica, mas não levava o vetor de estado como uma descrição do mundo. De algum modo,  $|\Psi\rangle$  estaria inteiramente na mente – seria a nossa maneira de descrever o mundo, mas não seria o próprio mundo.

- **Roger Penrose** – Para ele, o vetor de estado  $|\Psi\rangle$  é a descrição da própria realidade. Com isso, podemos classificar sua postura como de um cientista realista crítico. Isso porque ele traz a função de onda como um modelo teórico que consegue descrever a realidade por completo, em que pode acontecer dessa realidade possuir propriedades que são inerentes a ela, mas perceptível apenas pela consciência de quem o percebe. Além disso, Penrose classifica os físicos quânticos em duas categorias: os que acreditam na mecânica quântica e aqueles que são sérios e se classifica na categoria dos sérios, definindo que os sérios “Consideram que o vetor de estado  $|\Psi\rangle$  descreve o mundo real – o vetor de estado é a realidade” (PENROSE, 1998 p. 84),

Diante disso, assim como Bohr e Penrose, é comum que os cientistas possuam concepções epistemológicas diferentes acerca de um mesmo fenômeno.

## Capítulo 3

# Estudo da Máquina de Atwood à luz da Segunda Lei de Newton e Através do *software* Tracker

Este capítulo apresenta uma abordagem sobre um modelo teórico para a máquina de Atwood e o *software* Tracker como uma ferramenta de ensino de Física. Na Seção 3.1 é mostrado o modelo teórico envolvendo a segunda lei de Newton para rotações a fim de obter a aceleração de um sistema composto por uma roldana e dois corpos de massas distintas. Já na Seção 3.2, é apresentado a coleta de dados experimentais através do Tracker.

### 3.1 A Segunda Lei de Newton para Rotação como Modelo Teórico à Máquina de Atwood

Ao considerar que a física parte de idealizações da realidade (BUNGE, 1974), consideramos que problemas físicos envolvem um modelo teórico e conseqüentemente um objeto-modelo. No entanto, é pouco comum utilizar esses termos em física como também, podem ser pouco comuns discussões e reflexões filosóficas. Ao invés de discussões como a citada anteriormente, é mais comum o uso de metodologias de ensino, tal como a contextualização. Dito de outra forma, trata-se de uma contextualização direta, ou seja, não epistemologicamente mediada. Essa não mediação pode, por conseqüência, levar à falta de reflexões críticas e filosóficas a acerca da física.

Embora algumas explicações físicas tenham como ponto de partida uma situação vista como real, o modelo teórico que a representa possui

elementos idealizados, transformando a situação real em um objeto conceitual que depende da consciência cognoscente. Como exemplo, a dinâmica é um conteúdo físico elementar no Ensino Médio, onde as leis de Newton são bastante usadas para revolver inúmeros problemas. A máquina de Atwood que representa um objeto-modelo advindo de uma situação dita como sendo real, parte de modelos teóricos descritos na mecânica clássica (Teoria geral) para mostrar a segunda lei de Newton sendo aplicada na “realidade”.

Diante disso, é comum os professores ensinarem as leis de Newton fazendo menção à situação real. No entanto, apesar de ajudar na compreensão do conceito físico, é uma metodologia que escapa da esfera do conhecimento científico ao fazer diretamente uma analogia com a realidade. Tal fato, pode inculcar no aluno a crença de que os modelos teóricos descrevem situações do dia a dia, caracterizando uma visão epistemológica de realismo ingênuo ou natural (HESSEN, 1999).

Nessa perspectiva, apresentaremos a máquina de Atwood como um modelo teórico para solucionar um problema físico. A máquina de Atwood nada mais é que um experimento criado no século XVIII por George Atwood para demonstrações sobre as leis da dinâmica e que consiste em dois corpos de massas distintas presos por uma corda que passa sobre uma roldana fixa.

Estabelecendo que o modelo teórico usado para a máquina de Atwood permite acrescentar elementos hipotéticos. Isso significa que será considerado na máquina de Atwood, o movimento causado pela roldana e não apenas os movimentos causados pelas massas dos corpos  $m_1$  e  $m_2$ .

A seguir, apresentamos o problema abordado no questionário (que encontra-se no Apêndice A deste trabalho) e aplicado durante a intervenção. O objetivo é comparar o modelo teórico abordado no problema com o experimento que o representa na situação real.

### **3.1.1 Problema**

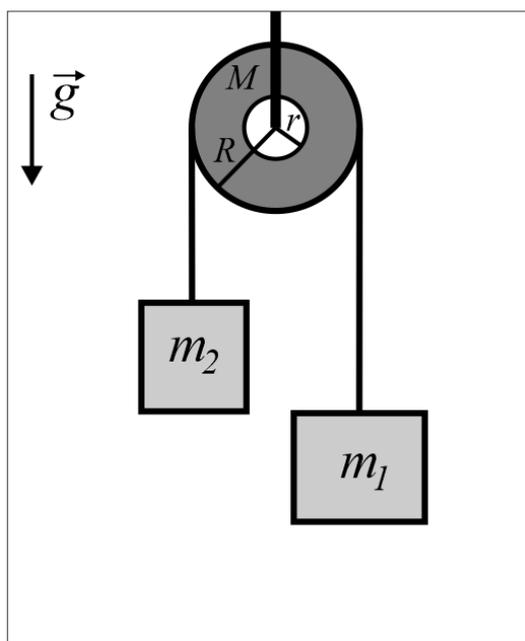
Dois blocos de massas  $m_1$  e  $m_2$  estão ligados por um fio de massa desprezível que passa por uma roldana sem atrito como mostrado na Figura 3.1.

A roldana tem massa  $M$ , e raio interno  $r$  e raio externo  $R$ . Dado  $g$ , desprezando a resistência do ar e que o fio não desliza na roldana, considere que o conjunto é mantido inicialmente em repouso e quando abandonado inicia o movimento.

- Determine uma expressão geral para a aceleração do sistema.
- Suponha que  $m_1 = x \cdot m_2$ ,  $R = 5$  cm,  $r = 3$  cm e  $M = 0,42995$  kg. Dado  $g = 9,81$   $m/s^2$ , preencha a Tabela 3.1 para os valores pedidos de  $x$ .

**Tabela 3.1:** Valores para a aceleração do sistema.

Massa (kg)	$m_1 = x \cdot m_2$								
	$x = 3$	$x = 4$	$x = 5$	$x = 6$	$x = 7$	$x = 8$	$x = 9$	$x = 10$	$x = 11$
Aceleração ( $m/s^2$ )									



**Figura 3.1:** Ilustração do aparato experimental.

A sequência para a solução do problema, encontra-se no Apêndice A. No entanto, vamos fazer algumas discussões acerca de algumas expressões obtidas no modelo teórico. O problema não considera a roldana “ideal”. Trata-se de uma casca cilíndrica com raio interno  $r$  e externo  $R$ , ou seja, um objeto-modelo um pouco mais sofisticado que uma roldana “ideal”. Nesse sentido, consideramos que o momento de inércia da roldana influencia o movimento dos

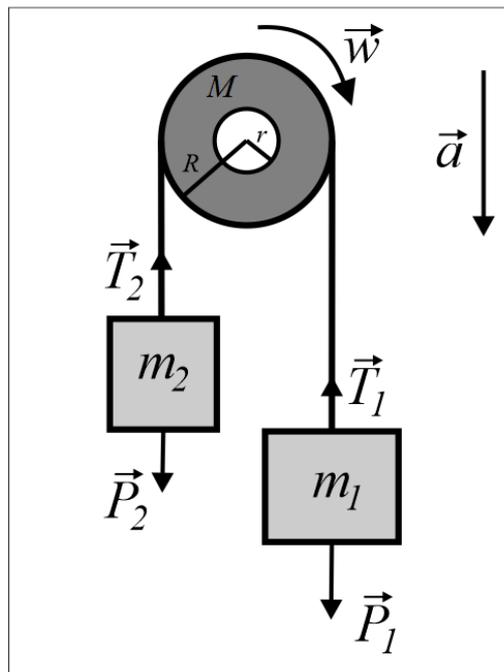
corpos e conseqüentemente a aceleração do sistema. A expressão para o momento de inércia de um objeto não uniforme é da forma:

$$I = \int r^2 dm \quad (1)$$

Resolvendo a eq.(1) como mostrado no Apêndice A, obtemos a eq.(2), que faz referência ao momento de inércia de uma roldana com a geometria estabelecida pelo problema.

$$I = \frac{M}{2}(R^2 + r^2) \quad (2)$$

Sabendo que o momento de inércia da roldana pode influenciar o movimento do sistema, usaremos a segunda lei de Newton para rotações a fim de obter uma expressão geral para a aceleração do sistema. O diagrama de corpo livre mostrado na Figura 3.2 representa as forças que atuam no sistema.



**Figura 3.2:** Diagrama de corpo Livre

Aplicando no problema a segunda lei de Newton para rotações ( $\tau_{res} = I\alpha$ ) e analisando as forças que agem sobre cada um dos blocos  $m_1$  e  $m_2$ ,

obteremos a eq.(3) como uma expressão geral para a aceleração (em módulo) de qualquer tipo de roldana com momento de inércia I:

$$a = \frac{(m_1 - m_2)g}{\left(m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2}\right)} \quad (3)$$

Substituindo a eq.(2) na eq.(3), obteremos a eq.(4) para a aceleração do sistema proposto no problema.

$$a = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2 + \frac{M(R^2 + r^2)}{2R^2}} g \quad (4)$$

A eq.(4) representa o resultado final do modelo teórico. Observe que para chegar a esse resultado foram desconsiderados fatores reais, tais como: a massa da corda, atrito entre a roldana e o eixo, a resistência do ar, ou seja, elementos que podem influenciar no resultado do modelo teórico.

De posse do modelo teórico e preenchida a Tabela 3.1 solicitada no problema, o passo seguinte é buscar valores para a aceleração do sistema via experimentação, e, para isso utilizamos o Tracker.

### **3.2 A utilização do Tracker como ferramenta para a coleta de dados experimentais**

Apresentar a diferença entre objetos reais e objetos-modelos, assim como apresentar um modelo teórico via problema físico, não é suficiente para a investigação das concepções epistemológicas de estudantes de Física. Para isso, é necessário encontrar formas de confrontar a teoria com a realidade, a fim de levar a reflexão epistemológica da física como uma ciência que estuda situações reais através de idealizações.

Nesse sentido, utilizamos a experimentação como sendo a realidade à qual o modelo teórico se refere. Visto que atividades que relacionem teoria e experimentação podem ocasionar discussões relevantes sobre possíveis divergências de resultados e, dependendo da forma como o professor

aborde essa questão, pode-se promover no aluno conflito de ideias. Esses conflitos fazem parte da construção da ciência, pois a relação entre teoria e experimentação apresentou controvérsias durante séculos.

Segundo Peduzzi (2012, p. 213), controvérsias entre teoria e experimentação fazem parte de duas vertentes epistemológicas: empirismo e racionalismo. Empirismo e racionalismo são duas vertentes distintas que se mantiveram afastadas por alguns séculos, levantando diálogos históricos sobre a existência de uma possível Natureza da Ciência. Por muito tempo atuava como a temática central dos debates para a construção do conhecimento científico. Nesse enfoque, o laboratório constituía-se como o único fundamento seguro para a coleta de dados e para a construção do conhecimento e posteriormente como uma forma de comprovar a teoria. No entanto, ainda segundo Peduzzi (2012, p. 213),

A partir da década de 60 do século XX, as discussões ganharam novos rumos com as teorias de Popper (1975) e Kuhn (1980) e a teoria passou a ter papel preponderante, e independência em relação à experimentação. O laboratório deixou de ser o único fundamento seguro e ganhou papel de verificação teórica.

Diante disso, atividades laboratoriais proporcionam discussões sobre a relação entre teoria e experimentação e assim, se caracterizando como um ensino dinâmico e significativo. Além disso, oferece contribuições histórica e filosófica que fundamentam o papel e a importância desse tipo de atividade. No entanto, esse tipo de atividade é pouco frequente e a causa pode estar relacionada a ausência de laboratórios de ciências e de recursos experimentais.

Uma alternativa para esse problema é o *software* Tracker, uma ferramenta gratuita de aquisição de dados por meio do processamento digital de imagens voltada para o Ensino de Física. Segundo Bezerra Jr (2011), o Tracker é um software livre, criado em parceria com o Open Source Physics (OSP), com o objetivo de oferecer recursos gratuitos para o Ensino de Física e de modelagem computacional na intenção de promover o ensino-aprendizagem.

O *software* permite analisar atividades experimentais sem a necessidade de um laboratório de ciências pois é possível filmar o experimento

em algum ambiente disponível para o professor e levar para a sala de aula apenas a filmagem do mesmo, e então explorar o experimento e processar os dados junto com os alunos. Além disso, o próprio *software* dispõe de alguns experimentos criados pelos seus desenvolvedores, permitindo ao professor explorar alguns fenômenos físicos sem a necessidade de elaborar atividades experimentais que os representem.

Além disso, é uma ferramenta computacional fácil de manipular, pois requer apenas conhecimentos básicos de informática, como instalação de um programa e uma sequência de passos que são ensinados pelo próprio *software*. Em suma, é uma ferramenta de ensino que constitui-se em um laboratório didático virtual, tornando possível trabalhar conteúdos como mecânica, termodinâmica, eletromagnetismo e dentre outros, promovendo assim, a realização de atividade experimental de baixo custo e um ensino dinâmico e significativo.

Através do uso desta tecnologia, professores e estudantes de Física tem condições objetivas de desenvolver experimentos significativos e atividades de laboratório de baixo custo, mas com alta qualidade acadêmica. Bezerra Jr (2011)

A análise de vídeos quadro a quadro é possível devido ao uso de uma câmera digital, podendo ser até câmeras de celulares ou Webcam, o que torna a atividade ainda mais dinâmica, visto que, é comum o uso de aparelhos celulares e tecnologias digitais por alunos e professores. Segundo Lenz (2014),

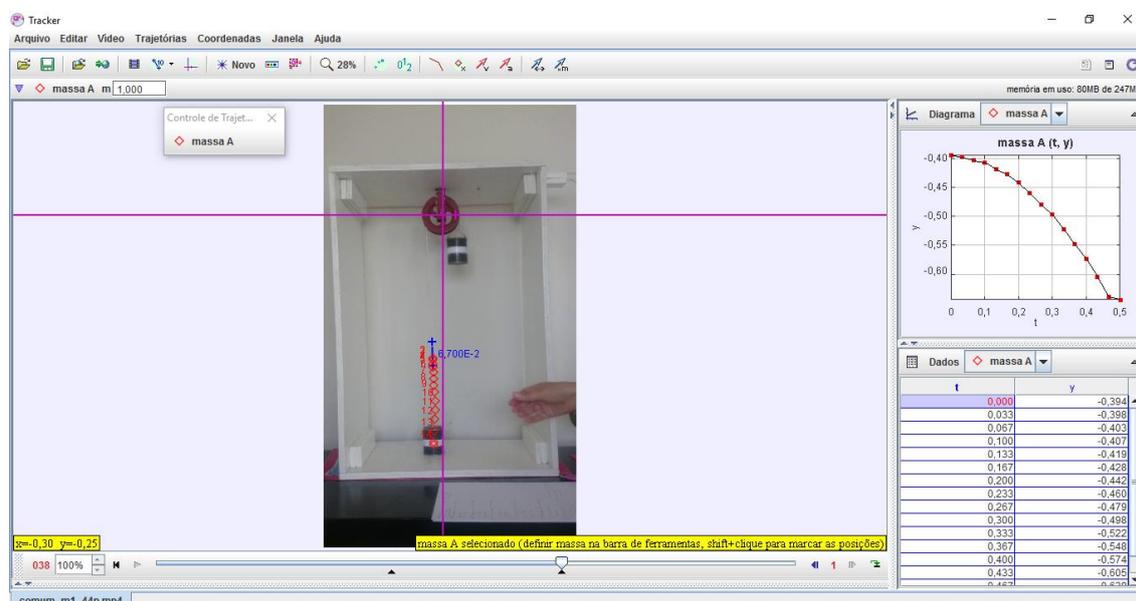
O programa Tracker permite realizar análise de vídeos quadro a quadro, com o que é possível o estudo de diversos tipos de movimento a partir de filmes feitos com câmaras digitais ou webcams e computadores comuns.

Fisicamente, o Tracker permite analisar o movimento de objetos em função do tempo a partir do processamento do vídeo e apresenta os resultados através de um gráfico. Posteriormente o gráfico é analisado segundo as informações que se deseja obter.

Nesse contexto, o Tracker é usado para analisar o movimento da máquina de Atwood. O esquema é composto por um sistema de roldana que tenta se aproximar do sistema apresentado no problema da Subseção 3.1.1. O

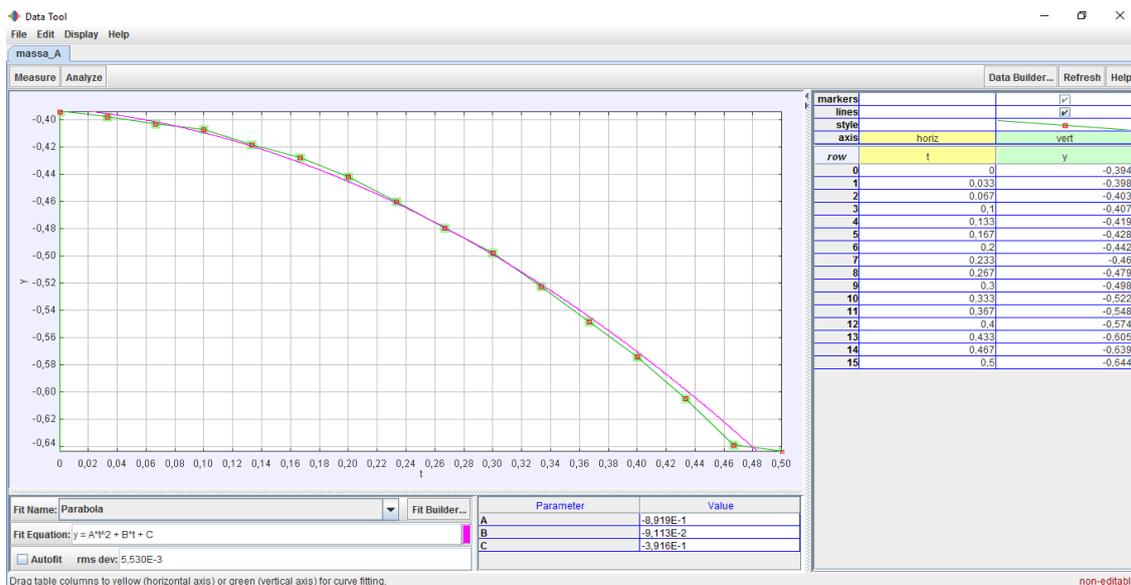
objetivo de usar o Tracker é para obter valores da aceleração de forma experimental e utilizar esses valores para fazer uma comparação com os valores obtidos por meio do modelo teórico mostrado através do problema.

Na Figura 3.3 é apresentada a tela do Tracker que mostra a máquina de Atwood elaborada para a proposta deste trabalho. Onde podemos observar o eixo de coordenadas na cor lilás, a marcação do tamanho das latinhas na cor azul, pequenos quadradinhos em vermelho referentes as marcações quadro a quadro e no lado direito superior da tela, um gráfico da massa A ( $t, y$ ) referente a posição em função do tempo, mostrando a trajetória dos corpos  $m_1$  e  $m_2$ .



**Figura 3.3:** A máquina de Atwood sendo analisada através do Tracker.

Ao clicar sobre o gráfico mostrado na figura anterior, abrirá uma outra tela como mostrada a seguir na Figura 3.4. Essa tela mostra a ampliação do gráfico e os valores obtidos para  $a$ ,  $b$  e  $c$  a partir de uma curva com Fit polinomial de segunda ordem, onde podemos encontrar uma expressão matemática para o cálculo da aceleração do sistema formado pela máquina de Atwood.



**Figura 3.4:** Fit polinomial de segunda ordem do gráfico para  $m_1=11m_2$ .

Expressão matemática dado no Tracker:  $y(t) = At^2 + Bt + C$ .

Derivando  $y(t)$  duas vezes em relação a  $t$  e substituindo o valor de  $A = -0,8919$ , obtido com o Fit polinomial de segunda ordem, temos o valor absoluto da aceleração obtido experimentalmente dada por:  $a = 2A = 1,7838 (m/s^2)$ . Esse é o valor para a aceleração obtido através do Tracker para a massa de  $m_1=11m_2$ . De maneira análoga podemos encontrar todos os valores da aceleração para as outras massas dadas no problema. Diante disso, todos os resultados obtidos através do Tracker poderão ser comparados com os resultados obtidos com o modelo teórico e então, lançados a uma investigação epistemológica acerca de possíveis discrepâncias.

## Capítulo 4

### Metodologia

Neste capítulo apresentamos o percurso metodológico para a investigação das possíveis concepções epistemológicas dos estudantes com relação à essência do conhecimento.

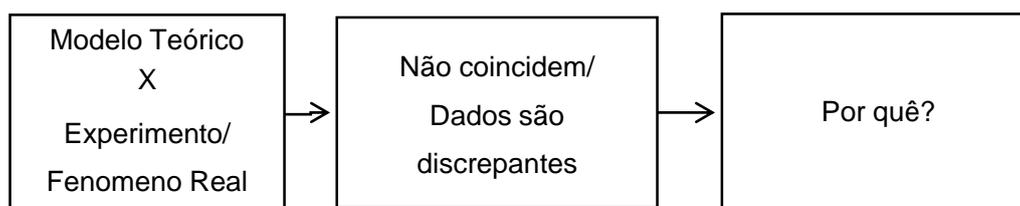
Para realização desta pesquisa houve a participação de trinta e três estudantes do segundo período e sete estudantes do oitavo período, do curso de Física-Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco-Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru-PE. Para investigar as concepções desses estudantes segundo as visões epistemológicas (Hessen, 1999), foi preciso levá-los a um conflito de ideias através de uma correlação entre teoria e realidade. Para isso, utilizamos o modelo teórico descrito no capítulo três e calculamos os valores da aceleração solicitado na questão (b) do problema. Abordamos conceitos de mecânica Newtoniana aplicada à máquina de Atwood, visto que o conteúdo é comum a todos os estudantes.

Nas duas turmas foi aplicado o questionário do Apêndice B, composto pelo problema físico citado anteriormente e, de forma breve, algumas informações sobre o experimento que o representa. Para complementar o questionário foram apresentados alguns vídeos que mostram a realização do experimento. Os vídeos foram analisados através do Tracker (como citado no capítulo três), para se obter a aceleração do sistema composto por uma roldana e dois corpos com massas distintas, a cada nova filmagem, iniciando com  $m_1=3m_2$  e aumentando em uma unidade até formar a massa de  $m_1=11m_2$ . A Tabela 4.1 representa os valores da aceleração obtidos pelos dois métodos.

**Tabela 4.1:** Valores teóricos e experimentais da aceleração.

Massa (kg)	Aceleração ( $m/s^2$ )	
	Modelo Teórico	Experimental
$m_1 = x \cdot m_2$		
$m_1 = 3m_2$	0,77	0,21
$m_1 = 4m_2$	1,11	0,41
$m_1 = 5m_2$	1,43	0,63
$m_1 = 6m_2$	1,72	0,85
$m_1 = 7m_2$	1,99	0,95
$m_1 = 8m_2$	2,25	1,19
$m_1 = 9m_2$	2,49	1,32
$m_1 = 10m_2$	2,72	1,43
$m_1 = 11m_2$	2,93	1,78

Quando os resultados obtidos com o modelo teórico foram comparados aos resultados obtidos por meio do experimento houve uma discrepância de resultados e então, partimos dessa oposição, como o ponto-chave para a nossa investigação. Para tanto, no questionário abordamos uma questão com três possibilidades de respostas para que os estudantes pudessem se basear em suas indagações, foram elas: 1) o experimento não foi realizado com precisão e por isso o resultado deu errado; 2) o problema resolvido não condiz com o experimento; 3) outros motivos não especificados. Cite quais. A Figura 4.2 representa as duas situações que utilizamos para levar os estudantes a indagações reflexivas e epistemológicas.

**Figura 4.2:** Procedimento para investigação das concepções.

De posse das respostas dos estudantes, a sequência natural consistiu na organização e na análise das mesmas, subsidiadas por categorias que foram estabelecidas e fundamentadas no referencial teórico (Hessen, 1999). A pesquisa pode ser classificada como semi-qualitativa visto que, ao mesmo tempo em que o interesse central dela consiste em interpretar significados (o significado de concepções epistemológicas), terá um tratamento estatístico descritivo para mostrar e destacar os resultados obtidos com as duas turmas.

## Capítulo 5

### Resultados e Discussões

Neste capítulo apresentamos e discutimos as concepções dos estudantes do segundo e oitavo períodos do Curso de Física-Licenciatura, analisadas com base nos referenciais teóricos.

De posse das respostas dos estudantes sobre as possíveis causas para a discrepância entre os resultados teóricos e experimentais, partimos do nosso referencial teórico (Bunge 1974; Hessen 1999) para construir a Tabela 5.1. Nessa tabela são mostradas as categorias e as respectivas descrições conjecturadas pelos conceitos de modelo teórico e objeto real, isto porque as respostas dos estudantes estavam correlacionando teoria e realidade. As classificações das possíveis concepções foram organizadas através de padrões de respostas.

**Tabela 5.1:** Categorias descritivas embasadas nos referenciais teóricos.

<b>Categoria/ Essência</b>	<b>Descrição</b>	<b>Padrão de Resposta</b>
Realismo Natural	O modelo teórico é um retrato fiel de um objeto real e é independente da consciência. O objeto corresponde exatamente ao que é percebido.	Respostas com ênfase no erro no experimentador. Não considera o modelo teórico ser incompleto por atribuir que a falha está na atividade experimental.

Realismo Crítico	O modelo teórico é incompleto e não é um retrato fiel do objeto real, dependendo da consciência. O objeto não corresponde exatamente ao que é percebido.	Respostas com ênfase no modelo teórico ser incompleto. O objeto real contém propriedades cognoscíveis não consideradas no modelo.
Idealismo	O modelo teórico não faz menção a objetos reais. O objeto é percebido apenas pela consciência.	Resposta com ênfase na relação entre o modelo teórico e experimento ser de natureza lógica.
Fenomenalismo	O modelo teórico possui fatores incognoscíveis. Há propriedades no objeto real ou ideal que não são percebidas pela consciência.	Respostas com ênfase na descrição do modelo teórico. Mas sem deixar claro o que é objeto.

O realismo crítico e o fenomenalismo apresentam padrão de respostas que se relacionam e com isso os argumentos dos estudantes podem se encaixar tanto no realismo crítico quanto no fenomenalismo, isto porque, as respostas levaram a entender que tanto o modelo teórico poderia ser incompleto quanto o objeto real. Tal fato pode ser explicado através da relação que existe entre o fenomenalismo e o idealismo. Segundo Hessen (1999, p. 62):

O fenomenalismo, portanto, acompanha o realismo na suposição de coisas reais, mas acompanha o idealismo na limitação do conhecimento à realidade dada na consciência, ao mundo das aparências, do que resulta a incognoscibilidade das coisas.

A incognoscibilidade abordada no fenomenalismo refere-se a não conhecer intrinsecamente o fenômeno, atribuindo que há propriedades no objeto real ou idealizado que não são percebidos pela consciência. Podemos associar o fato do modelo teórico ser incompleto na descrição do próprio objeto-modelo e conseqüentemente não se refere ao objeto real.

Nesse sentido, vamos agrupar as categorias de realismo crítico e fenomenalismo, em uma só, denominada de realismo crítico/fenomenalismo. O padrão de resposta dessa nova categoria considera o modelo teórico incompleto, podendo possuir propriedades que podem ser incognoscíveis. Tal fato pode ter acontecido em consequência do questionário não especificar elementos que

direciona-se para as categorias. Nessa perspectiva, reestruturamos a tabela anterior e apresentamos a Tabela 5.2 com as categorias de análise para as respostas dos sujeitos investigados.

**Tabela 5.2:** Categorias para análise das concepções dos estudantes.

<b>Categoria/Essência</b>	<b>Descrição</b>	<b>Padrão de Resposta</b>
Realismo Natural	O modelo teórico é um retrato fiel de um objeto real e é independentemente da consciência. O modelo teórico corresponde exatamente ao que é percebido no objeto real.	Respostas com ênfase no erro do experimentador. Não considera o modelo teórico ser incompleto, por atribuir que a falha está na atividade experimental.
Idealismo	O modelo teórico não faz menção a objetos reais. O objeto é percebido apenas pela consciência.	Resposta com ênfase na relação entre o modelo teórico e experimento ser de natureza lógica.
Realismo Crítico/ Fenomenalismo	O modelo teórico é incompleto para descrever objetos reais e os objetos reais podem ter propriedades incognoscíveis.	Respostas com ênfase na descrição do modelo teórico. Modelo teórico e objetos reais não são equivalentes.

Apesar do questionário possibilitar a investigação com um número grande de estudantes, fica inviável escrever e analisar todos os argumentos neste trabalho. Diante disso, apresentaremos as análises feitas em alguns argumentos e posteriormente, mostraremos o resultado através de gráficos para todas as categorias referentes a cada turma investigada, bem como a comparação das duas turmas através de um gráfico.

### **Análise das Concepções dos Estudantes do Segundo Período**

Quando o modelo teórico descreve o experimento, constitui uma visão epistemológica que submete a realidade diretamente às teorias. Isso significa que os modelos teóricos são representações completas da realidade e independem da consciência (Hessen, 1999). O estudante que possui esse tipo

de visão, não considera a existência de objeto-modelo ou modelo conceitual como forma de representação do objeto real. Parte do modelo teórico como sendo verdadeiro e ao comparar o modelo teórico com o fenômeno (objeto real), associa o erro na formulação do experimento, ou seja, agrega o erro ao experimentador, considerando erros associados à imprecisão ou na medição de variáveis. Como exemplo, temos as falas dos estudantes abaixo:

*“Talvez o problema se encontre na precisão de medir a altura da lata  $m_1$  em relação ao “chão” e em relação a  $m_2$ .” (Estudante, S14)*

*“Na minha opinião o que influenciou para acontecer essa grande diferença de valores em relação a aceleração foi o software utilizado, ou até mesmo o instante em que o experimentador utilizou para parar a câmera do celular.” (Estudante, S30)*

Nessas e dentre outras justificativas apresentadas pelos estudantes, percebemos que *oito estudantes possuem concepção de realismo natural*, por acreditar que o modelo teórico descreve a realidade, adotando como principais argumentos os utilizados pelos estudantes S14 e S30, visto que relacionam a discrepância entre os resultados, com a imprecisão do experimento, ao *software* Tracker e conseqüentemente ao experimentador.

Em relação a concepção de idealismo que segundo Hessen (1999), defende a existência de objetos reais apenas no mundo das ideias, não foi identificado nenhum argumento condizente com essa categoria. Uma justificativa a essa categoria, seria argumentar que não há objetos reais (Hessen, 1999), sendo o modelo teórico uma representação de uma “realidade” construída no consciente e inteiramente estudada a partir dela.

Em relação à *categoria de realismo crítico/ fenomenalismo foram identificados vinte e um estudante*. Essa categoria se refere às respostas com argumentos críticos e epistêmicos acerca do fenômeno. São respostas que descrevem o modelo teórico, fazendo-se necessário considerar “fatores intrínsecos da natureza” e até mesmo fatores que possuem propriedades incognoscíveis à percepção. São exemplos de fatores intrínsecos: a força de atrito estática (possibilidade de rolar escorregando) e a resistência do ar e de fatores incognoscíveis, aqueles que se referem a propriedades não conhecidas pelo sujeito mas que pode interferir no resultado.

*“Do experimento para o teórico, há fatores que ajudam a alterar o resultado da aceleração final. Os dois não consideram os mesmos fatores, como a espessura do barbante, o atrito do barbante na roldana, e a força que é necessária para realizar o movimento da roldana, principalmente no eixo de rotação da mesma. Creio que principalmente por esses fatores fizeram com que os resultados da aceleração experimental fossem menor do da aceleração obtida através dos cálculos.” (Estudante, S12)*

*“O modelo teórico provavelmente está equivocado, pois o resultado não condiz com a experimentação. Como a aceleração deu diferente, mas o crescimento dos dois resultados é parecido, provavelmente foi a falta de consideração de algum fenômeno.” (Estudante, S16)*

Como podemos notar na justificativa do estudante S12, ele argumenta que: *“do experimento para o teórico há fatores que ajudam alterar o resultado da aceleração final” (Estudante S12)*. Esses “fatores” conferem a compreensão de se tratam de propriedades que não conhecidas pelo estudante e assim, o caracteriza com a concepção de fenomenalismo. Porém, quando o estudante diz que não se consideram os mesmos fatores e atribui exemplos de “fatores” como: força de atrito e espessura da corda, dá a entender que o estudante possui uma visão de realismo crítico. Isso porque, ele vincula o conhecimento da realidade a propriedades advindas de estímulos externos e que são percebidas pela consciência. Nesse sentido, o estudante se caracteriza na categoria de realismo crítico/fenomenalismo, por apresentar propriedades que, amiúde não são conhecidas e considerar o modelo teórico ser incompleto, o que significa não representar a realidade em si.

Já o estudante S16 argumenta que: *“O modelo teórico provavelmente está equivocado [...] provavelmente foi a falta de consideração de algum fenômeno.”* Nessa justificativa podemos observar que o estudante, associa o modelo teórico como sendo incompleto para descrever o experimento, como também, associa a discrepância a ausência de algum fenômeno não explicitado por ele. Em consequência disso, a concepção desse estudante também se caracterizou na categoria de realismo crítico/fenomenalismo.

Dentre os argumentos analisados, houve justificativas como: *“Não fui capaz de formular uma opinião a respeito do ocorrido” (Estudante, S7)*. Esse argumento do estudante S7, representa um, dentre *quatro estudantes que não foram identificados em nenhuma das categorias* descritivas da tabela 5.2.

## Análise das Concepções dos Estudantes do Oitavo Período

Referentes aos estudantes do oitavo período foram observados argumentos mais críticos relativos à controvérsia de resultados teóricos e experimentais.

*“Por mais próxima que se pretenda, as situações ainda divergem, da mesma forma que teoria e realidade. Os resultados obtidos, mesmo que diferentes, são plausíveis, uma vez que você utilizou um modelo teórico para aproximar-se da situação real, na tentativa de conseguir dar uma descrição mais detalhada e formal para a situação, valendo-se de algumas considerações necessárias, e mesmo que pequenas ainda influem no resultado. Acredito que tal divergência ainda seria observada caso outra pessoa tentasse realizar o mesmo feito. Justamente por essa peculiaridade entre conciliar o modelo teórico, a situação teórica, com a situação real.” (Estudante, O1)*

*“Os resultados podem ter dado diferentes por causa que os dados teóricos são ideais e os experimentais reais. Não é que o experimento esteja errado, é que existem outros fatores que tem que se considerar ao fazer um experimento assim. Pois quanto mais variáveis se considera mais o ideal se aproxima do real.” (Estudante, O5)*

A justificativa do estudante O1 apresenta informações que foram identificadas de acordo com a epistemologia de Bunge (1974), isto é, o estudante não parte da percepção do objeto real na argumentação das possíveis causas da discrepância de resultados. Vai além disso, apresenta conceitos de modelo teórico, situações teóricas e situação real, que são discutidas na epistemologia de Bunge. Quando o estudante cita a seguinte argumentação: “[...] Acredito que tal divergência ainda seria observada caso outra pessoa tenta-se realizar o mesmo feito. Justamente por essa peculiaridade entre conciliar o modelo teórico, a situação teórica, com a situação real” (Estudante O1). Ele se apresenta com a postura epistemológica acerca do evento, explica que há controvérsias entre teoria e realidade e por mais que se pretenda corroborá-las sempre vai haver divergências.

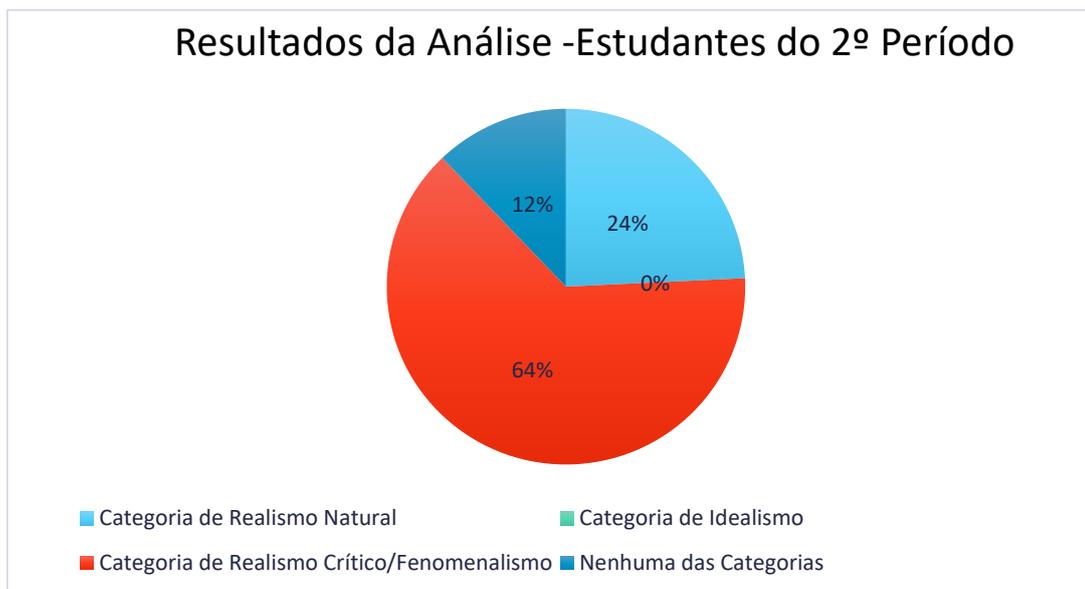
Já o estudante O5 apresenta a ausência de alguns “fatores”, que se deve considerar, sem mencionar que fatores são esses, se de natureza intrínseca perceptível ou não perceptível à consciência. Como também, trata de duas situações distintas (ideal e real). Portanto, compreende-se que os estudantes que trazem justificativas como as dos estudantes citados, se

encaixam na categoria de realismo crítico/fenomenalismo. Desse modo, foram identificados *seis estudantes* que se encaixam nessa categoria.

*“Fazer a simetria de experimento e teoria é um fato que precisa de experiência onde se encaixa em categoria teórica, vejo que não há articulação do experimento aqui mostrado a partir da teoria, onde se mostra de forma clara os testes feitos no Tracker independente da teoria. Sabendo que não existe margem de manobra, pois a leitura do experimento é uma leitura objetiva, independente e imparcial, então não vejo que experimento foi realizado de forma errada e por fim que a teoria e experimento são categorias bastante distintas e o compromisso entre elas é de natureza lógica, e não metodológica.”*  
(Estudante, O2)

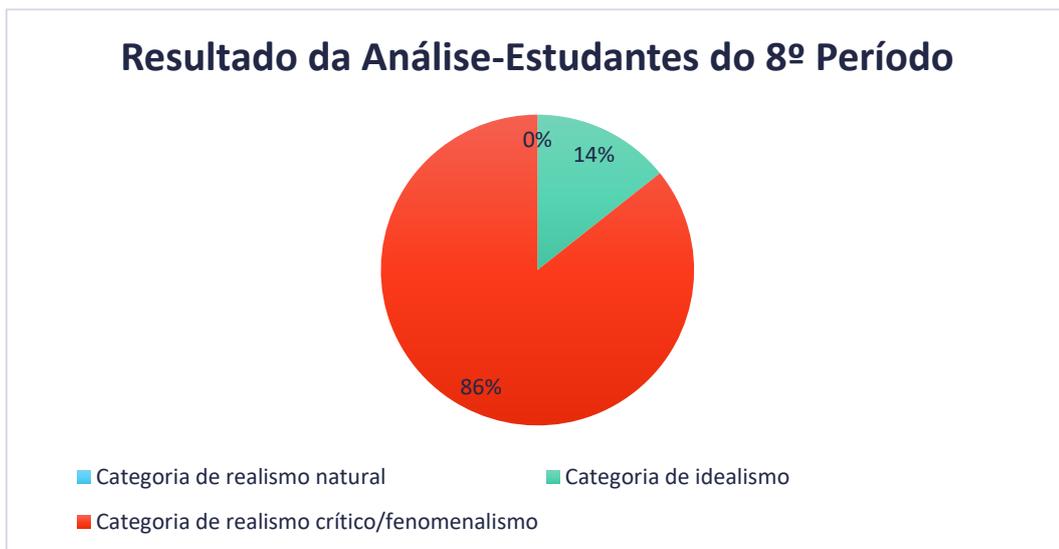
Quando o estudante O2 diz que não existe articulação do experimento com a teoria, ele considera que se tratam de coisas distintas. Entendemos que se refere ao experimento como sendo a situação real e a teoria a parte idealizada. Tal fato, fica evidente quando ele argumenta que: *“[...] a teoria e experimento são categorias bastante distintas e o compromisso entre elas é de natureza lógica, e não metodológica.”* Nessa fala, observamos elementos que levam à categoria de idealismo, visto que ao considerar a análise do experimento como de “natureza lógica” significa que todo o conhecimento do experimento é construído na consciência. Nessa categoria foi classificado apenas o estudante citado.

A Figura 5.1 apresenta o gráfico de porcentagem a partir do número de estudantes em cada categoria. Este resultado é para os estudantes do segundo período do curso de Física e posteriormente serão comparados com os resultados obtidos com a turma do oitavo período.



**Figura 5.1:** Porcentagem de estudantes do 2º período em cada categoria.

A partir da Figura 5.1 observamos que a grande maioria dos estudantes do segundo período, cerca de 64% possuem uma concepção de realismo crítico/ fenomenalismo. Isso porque, eles apresentaram em suas justificativas, elementos que retratam o modelo teórico ser incompleto ou possuir fatores desconhecidos pelos estudantes. Outros 24% dos estudantes representam a concepção de realismo natural, relacionando a discrepância entre o modelo teórico e o experimento a habilidades do experimentador, na execução ou na coleta de dados por meio do Tracker. Obteve-se que 21% dos estudantes não correspondem a nenhuma das categorias e houve 0% dos estudantes na categoria de idealismo.



**Figura 5.2:** Porcentagem de estudantes do 8º período em cada categoria.

Os resultados obtidos com a turma do oitavo período de Física mostram que a grande maioria dos estudantes, cerca de 86% continuam possuindo a concepção de realismo crítico/fenomenológico. No entanto, percebemos que o nível de argumentação dos estudantes do oitavo período retrata que esses estudantes têm algum conhecimento do assunto. Além disso, identificamos que 14% dos estudantes está na categoria de idealismo, categoria não identificada na turma do segundo período e 0% de estudantes na categoria de realismo natural. Essas duas categorias são literalmente opostas e apesar de não se tratar dos mesmos estudantes, esse resultado mostra que possivelmente os estudantes tornam-se mais críticos com relação à produção do conhecimento ao longo do curso.

## Capítulo 6

### Conclusão e Perspectivas

Neste capítulo apresentamos as considerações finais, contribuições desta monografia e perspectivas para trabalhos futuros.

Esta monografia apresenta uma investigação sobre as concepções de estudantes de física relativas às visões epistemológicas da essência do conhecimento. Para tal, foi utilizado um modelo teórico em física para um problema típico de física clássica envolvendo roldana, que é a máquina de Atwood, e um experimento que o representa. O processamento dos dados obtidos no experimento aconteceu através do *software* Tracker, que é uma ferramenta de processamento de vídeos quadro a quadro, voltada para o Ensino de Física. A partir dos resultados obtidos pelo Tracker foi possível confrontá-los com os resultados obtidos com o modelo teórico e com isso, proporcionar aos estudantes indagações acerca da discrepância observada entre os resultados, motivados pelas perguntas previamente formuladas no questionário.

A análise das respostas dos estudantes para o questionário permitiu a identificação de concepções que se encaixaram em categorias descritivas acerca das visões epistemológicas quanto à essência do conhecimento. Com essa categorização foi possível observar que os estudantes do segundo período do curso de Física- Licenciatura possuem em sua maioria concepções de realismo crítico/fenomenológico. Isso porque eles argumentaram o fato do modelo teórico ser limitado a uma situação específica e idealizada para a construção desse modelo. Já outros estudantes se encaixaram no realismo natural, onde se mostraram confusos quanto ao confronto do modelo teórico com o objeto real, evidenciando a necessidade de mais atividades que confrontem teoria e realidade visto que situações como a apresentada neste trabalho podem

levar a reflexões críticas e epistêmicas acerca da física como também, evitando possíveis concepções de realismo ingênuo. No entanto houve um certo número de estudantes que não se encaixaram em nenhuma das categorias por não apresentarem elementos condizentes com o padrão de repostas.

Para os estudantes do oitavo período foi observado que também a maioria se encaixou na categoria do realismo crítico/fenomenalismo, no entanto em comparação com o segundo período, possuem ideias mais formuladas acerca de modelos teóricos e realidade, pois definiram com mais clareza acerca dos modelos teóricos em física e os cuidados que se deve assumir ao relacionar com os fenômenos da realidade. Não houve concepção de realismo natural, pelo contrário, identificamos uma pequena porcentagem equivalente a apenas um estudante e que se encaixou na categoria de idealismo, isto significa que os estudantes do oitavo período evidenciam a compreensão da Física como uma ciência que parte da idealização da realidade.

Por fim, esta monografia contribui na compreensão dos fenômenos que envolvem a sala de aula de física, particularmente, no quadro da correlação entre epistemologia e atividades experimentais no Ensino de Física. Uma vez que o levantamento de concepções dos estudantes do curso de Física com base nos estudos sobre essência do conhecimento, torna possível entender sobre a importância de abordar questionamentos ou que permitam reflexões epistemológicas.

## **6.1 Proposta para Trabalhos Futuros**

Como proposta para trabalhos futuros, tem-se a extensão da investigação epistemológica levando-se em consideração o professor de Física que atua no Ensino Médio. Visto que é comum os professores do Ensino Médio correlacionar conteúdos físicos com a realidade através da contextualização, sem considerar que essa correlação não pode ser feita de modo direto porém, epistemologicamente mediada. Além disso, partindo da suposição de que a aquisição de novos significados tem como ponto de partida os ensinamentos do professor. Conhecer a concepção epistemológica do mesmo contribui na

compreensão de como possivelmente esse conhecimento é adquirido pelo aluno. Se o professor tem uma concepção de realismo ingênuo ou natural dos fenômenos físicos, possivelmente o aluno vai acreditar que a física é uma descrição completa da realidade.

## Referência Bibliográfica

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio), Ministério da Educação e Cultura - MEC**, 2000.

BEZERRA JR, Arandi Ginane Bezerra e et al. **Manual para usuários iniciantes no software Tracker**. UTFPR, CURITIBA, 2011.

BEZERRA JR, Arandi Ginane et al. Videoanálise com o software livre Tracker no laboratório didático de Física: movimento parabólico e segunda lei de Newton. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, p. 469-490, 2012.

BUNGE, Mario. **Teoria e Realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.

HALLIDAY, Resnick. Walker. **Fundamentos de Física**. vol. 1. Editora LTC, 2009.

HESSEN, Johannes; CORREIA, António. **Teoria do conhecimento**. Martins fontes, 1999.

JUNGES, Samira. Análise do uso de analogias em livros de Física para o Ensino Médio. **Revista da Graduação**, v. 4, n. 1, 2011.

KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1975.

LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LENZ, Jorge Alberto; SAAVEDRA FILHO, Nestor Cortez; BEZERRA JR, Arandi Ginane. Utilização de TIC para o estudo do movimento: alguns experimentos didáticos com o software Tracker-DOI 10.5752/P. 2316-9451.2014 v2n2p24. **Abakós**, v. 2, n. 2, p. 24-34, 2014.

MOREIRA, M. A. **Metodologia de Pesquisa em Ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

OPEN SOURCE PHYSICS. OPS. Disponível em <<http://www.compadre.org/osp/>> acesso em 02 de dezembro de 2016.

PEDUZZI, Luiz OQ; MARTINS, André Ferrer P.; FERREIRA, Juliana Mesquita Hidalgo. **Temas de história e filosofia da ciência no ensino**. Natal: EDUFRN, 2012.

PENROSE, Roger e et al. **O grande, o pequeno e a mente humana**. São Paulo: Fundação Editora UNESP, 1998.

PIETROCOLA, M. **Ensino de Física**. Santa Catarina: Editora da UFSC 2001.

<<https://www.youtube.com/watch?v=eEkKRRRCdz-I> > acesso em 10 de janeiro de 2017.

## Apêndice A

### Aplicação da Segunda Lei de Newton para rotação à Máquina de Atwood

#### Problema

Dois blocos de massa  $m_1$  e  $m_2$ , estão ligados por um fio de massa desprezível que passa por uma roldana sem atrito como mostrado na Figura 01. A roldana tem massa  $M$  e raio externo  $R$  e raio interno  $r$ . Dado  $g$ , desprezando a resistência do ar e que o fio não desliza na roldana. Considere que o conjunto é mantido inicialmente em repouso e quando abandonado inicia o movimento.

- Determine uma expressão geral para a aceleração do sistema.
- Suponha que  $m_1 = x \cdot m_2$ ,  $R = 5$  cm,  $r = 3$  cm e  $M = 0,42995$  kg. Dado  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>, preencha a Tabela 01 para os valores pedidos de  $x$ .

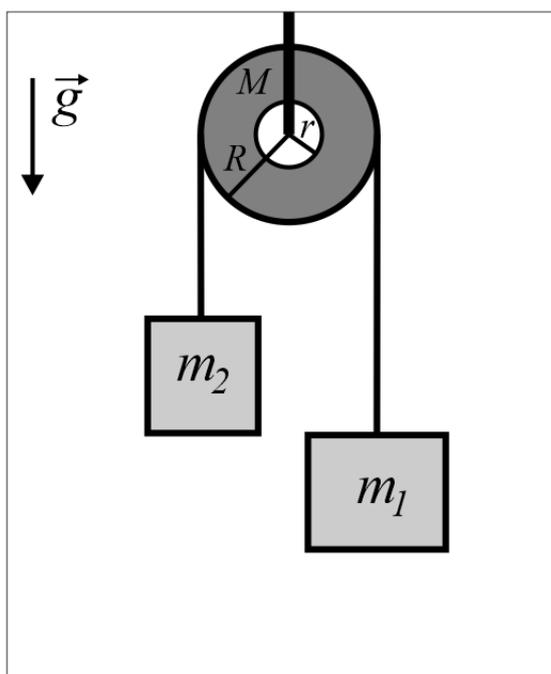


Figura 01: Ilustração do aparato experimental.

**Solução do Problema:**

O problema não considera a roldana ideal. Como observado na Figura 01 e abordado no problema, trata-se de uma casca cilíndrica com raio externo  $R$  e interno  $r$ . Nesse sentido, consideramos que o momento de inércia da roldana influencia no movimento dos corpos e conseqüentemente na aceleração do sistema. A expressão para o momento de inércia de um objeto não uniforme é na forma:

$$I = \int r^2 dm \quad (1)$$

Para calcular a integral mostrada na equação (1), expressamos  $dm$  como uma massa específica vezes um volume. Em que,  $dm$  é um elemento de massa distante  $R$  do eixo de rotação.

$$dm = \rho dV$$

O volume de um cilindro de raio  $r$  e comprimento  $L$  é na forma:

$$V = \pi r^2 L \rightarrow dV = 2\pi r L dr$$

Substituindo  $dV$  em  $dm$ , obtemos:

$$dm = 2\pi \rho r L dr \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1) e integrando no intervalo de  $r$  a  $R$ .

$$\begin{aligned} I &= \int_r^R r'^2 2\pi L \rho r' dr' \\ &= 2\pi L \rho \int_r^R r'^3 dr' \\ &= \frac{2\pi L \rho r'^4}{4} \Big|_r^R \\ I &= \frac{\pi L \rho}{2} [R^4 - r^4] \quad (3) \end{aligned}$$

A equação (3) representa o momento de inércia para um cilindro de raios  $r$  e  $R$ . O momento de inércia para essa e outras geometrias pode ser obtido

em (HALLIDAY, 2001). Observamos que o momento de inércia  $I$  está em termos de  $\rho$  (densidade de massa específica), vamos considerar um elemento de volume  $dV$  e integrar para encontrar uma equação de  $\rho$  em termos da massa total da roldana  $M$ .

Sendo,

$$\rho = \frac{M}{V} \rightarrow M = \rho V$$

$$V = \pi r^2 L \rightarrow dV = 2\pi r' L dr'$$

Então:

$$M = 2\pi L \rho r' dr'$$

Integrando  $M$  no intervalo de  $r$  a  $R$ .

$$M = \int_r^R 2\pi L \rho r' dr'$$

$$= 2\pi L \rho \int_r^R r' dr'$$

$$= 2\pi L \rho \frac{r'^2}{2} \Big|_r^R$$

$$M = \pi L \rho [R^2 - r^2] \rightarrow$$

$$\rho = \frac{M}{\pi L [R^2 - r^2]} \quad (4)$$

Substituindo (4) em (3) e usando propriedades de cálculo. Obteremos a equação (5) que representa o momento de Inércia da casca cilíndrica.

$$I = \frac{\pi L}{2} [R^4 - r^4] \times \frac{M}{\pi L [R^2 - r^2]} = \frac{(R^2 + r^2)(R^2 - r^2)}{2} \times \frac{M}{(R^2 - r^2)}$$

$$I = \frac{M}{2} (R^2 + r^2) \quad (5)$$

Este é o modelo teórico usado para calcular o momento de inércia de uma roldana com a geometria estabelecida no problema. Sabendo que

momento de inércia da roldana pode influenciar no movimento do sistema, usaremos a segunda lei de Newton para rotações, a fim de obter uma expressão geral para a aceleração do sistema. O diagrama de corpo livre mostrado na Figura 03, representa as forças que atuam no sistema.

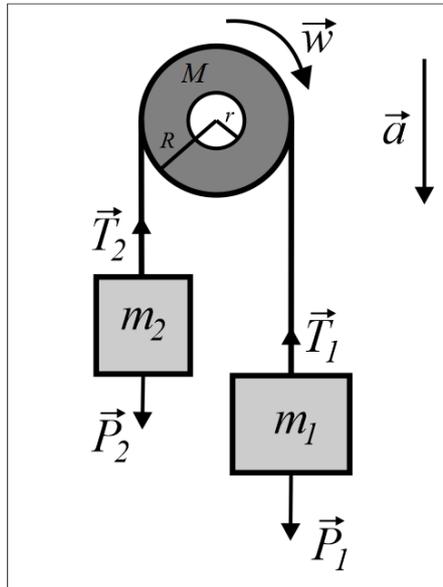


Figura 03: Diagrama de corpo livre

Aplicando a segunda lei de Newton para rotações.

$$\begin{aligned}\tau_{res} &= I\alpha \\ T_1R - T_2R &= I\alpha \\ (T_1 - T_2)R &= \frac{Ia}{R}\end{aligned}\quad (6)$$

Onde,  $\alpha = a/R$ .

Em seguida, analisamos as forças que agem sobre cada um dos blocos  $m_1$  e  $m_2$ .

$$m_1\mathbf{g} - \mathbf{T}_1 = m_1\mathbf{a} \rightarrow \mathbf{T}_1 = m_1(\mathbf{g} - \mathbf{a}) \quad (7)$$

$$m_2\mathbf{g} - \mathbf{T}_2 = -m_2\mathbf{a} \rightarrow \mathbf{T}_2 = m_2(\mathbf{g} + \mathbf{a}) \quad (8)$$

Substituindo (7) e (8) em (6):

$$\begin{aligned}
[m_1(\mathbf{g} - \mathbf{a}) - m_2(\mathbf{g} + \mathbf{a})]R &= \frac{I\mathbf{a}}{R} \\
m_1\mathbf{g} - m_1\mathbf{a} - m_2\mathbf{g} - m_2\mathbf{a} &= \frac{I\mathbf{a}}{R^2} \\
-m_1\mathbf{a} - m_2\mathbf{a} - \frac{I\mathbf{a}}{R^2} &= m_2\mathbf{g} - m_1\mathbf{g} \times (-1) \\
m_1\mathbf{a} + m_2\mathbf{a} + \frac{I\mathbf{a}}{R^2} &= (m_1 - m_2)\mathbf{g} \\
\mathbf{a}\left(m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2}\right) &= (m_1 - m_2)\mathbf{g}
\end{aligned}$$

Obteremos uma expressão geral para a aceleração de qualquer tipo de roldana com momento de inércia I:

$$\mathbf{a} = \frac{(m_1 - m_2)\mathbf{g}}{\left(m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2}\right)} \quad (9)$$

Substituindo (5) em (9), e assumindo o módulo de  $\mathbf{a}$  e  $\mathbf{g}$ . Obteremos a equação (10) como sendo a expressão para a aceleração do sistema.

$$a = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2 + \frac{M(R^2 + r^2)}{2R^2}} g \quad (10)$$

A equação (10) representa o resultado final do modelo teórico. Observe que para chegar a esse resultado foram desconsiderados fatores reais e que podem influenciar no resultado do modelo teórico. Tal como, o atrito entre o fio e a roldana, e, a resistência do ar que é um elemento intrínseco da natureza.

## Apêndice B

### Questionário aplicado ao segundo e oitavo períodos de Física- Licenciatura

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC/ QUESTIONÁRIO.

*Caro/a Estudante de Física*

*Construiu-se um arranjo experimental denominado Máquina de Atwood (figura 01), o qual possibilitou medir a aceleração do sistema. Para que possa acompanhar este experimento seguem anexos três vídeos, nos quais um dos corpos possui respectivamente:  $m_1 = 3m_2$ ,  $m_1 = 6m_2$  e  $m_1 = 11m_2$ .*

#### Procedimento experimental - Máquina de Atwood

Para montagem, foi usada uma Roldana fixa, duas latinhas, 44 unidades de porcas nº 11 em que cada porca possui massa de  $3,4 \times 10^{-3} kg$ , fio e caixote de madeira usado como suporte para o sistema. O resultado final é mostrado na figura 01 e através de vídeos.

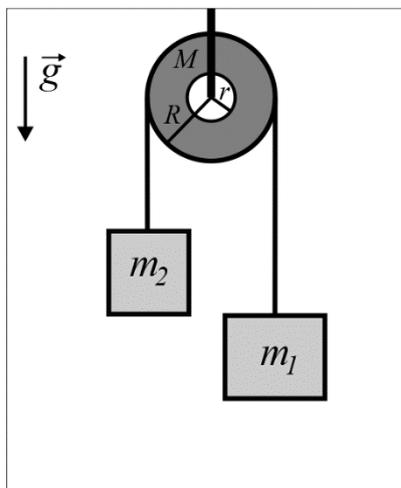


Figura 01: Arranjo Experimental - Máquina de Atwood.

Com o objetivo de medir a aceleração do sistema para diferentes massas, usou-se o Tracker, que é uma ferramenta de ensino que possibilita analisar o movimento de objetos em função do tempo, a partir do processamento de imagens. Para dar início as medições da aceleração, usou-se 12 porcas para formar a massa  $m_1$  e 4 porcas para formar a massa  $m_2$ , correspondendo a proporção de  $m_1 = 3m_2$ . Após cada filmagem, essa proporção aumentou em uma unidade até obter uma proporção final de  $m_1 = 11m_2$ . Com o Tracker obteve-se valores para a aceleração do sistema mostrados na tabela 01 abaixo.

Tabela 01: Resultados obtidos experimentalmente para a aceleração do sistema.

Massa (kg)	$m_1 = x \cdot m_2$								
	$x = 3$	$x = 4$	$x = 5$	$x = 6$	$x = 7$	$x = 8$	$x = 9$	$x = 10$	$x = 11$
Aceleração ( $m/s^2$ )	0,21	0,41	0,63	0,85	0,95	1,19	1,32	1,43	1,78

### Problema

Dois blocos, de massa  $m_1$  e  $m_2$ , estão ligados por um fio de massa desprezível que passa por uma roldana sem atrito (figura 01). A roldana tem massa de  $M$  e com raio externo  $R$  e raio interno  $r$ . Dado  $g$  e desprezando-se o efeito do ar e que o fio não desliza na roldana. O conjunto é mantido inicialmente em repouso e quando abandonado inicia o movimento.

- Determine uma expressão geral para a aceleração do sistema.
- Suponha que  $m_1 = x \cdot m_2$ ,  $R = 5 \text{ cm}$ ,  $r = 3 \text{ cm}$  e  $M = 0,42995 \text{ kg}$ . Dado  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ . Preencha a tabela 02 para os valores pedidos de  $x$ .

### Resolução:

*Neste problema a roldana não é ideal. Trata-se de uma casca cilíndrica com raio externo  $R$  e interno  $r$ . Então precisamos considerar que o momento de inércia da roldana influencia no movimento dos blocos e conseqüentemente na aceleração do sistema.*

*Expressão para o momento de inércia de um objeto não uniforme:*

$$I = \int r^2 dm$$

*Para calcular essa integral, expressamos  $dm$  como uma massa específica vezes um volume.  $dm$  é um elemento de massa distante  $R$  do eixo.*

$$I = \int_r^R r'^2 2\pi L \rho r' dr'$$

$$= 2\pi L \rho \int_r^R r'^3 dr' = \frac{2\pi L \rho r'^4}{4} \Big|_r^R$$

$$= 2\pi L \rho \left[ \frac{R^4}{4} - \frac{r^4}{4} \right]$$

$$= \frac{\pi L \rho}{2} [R^4 - r^4]$$

$$\rho = \frac{M}{V} \rightarrow M = \rho dV$$

$$V = \pi r^2 L$$

$$M = \rho V \rightarrow M = \pi L \rho r^2 \rightarrow dM = 2\pi L \rho r dr$$

$$I = \frac{\pi L \rho}{2} [R^4 - r^4] \quad [1]$$

$$M = \int \rho dV = \int_r^R 2\pi L \rho r' dr' = 2\pi L \rho \int_r^R r' dr' = 2\pi L \rho \left[ \frac{r^2}{2} \Big|_r^R \right] = \pi L \rho [R^2 - r^2] \rightarrow$$

$$M = \pi L \rho [R^2 - r^2] \rightarrow \rho = \frac{M}{\pi L [R^2 - r^2]} \quad [2]$$

Substituindo [2] em [1]:

$$I = \frac{\pi L}{2} [R^4 - r^4] \times \frac{M}{\pi L [R^2 - r^2]} = \frac{(R^2 + r^2)(R^2 - r^2)}{2} \times \frac{M}{(R^2 - r^2)} \rightarrow$$

$$I = \frac{M}{2} (R^2 + r^2)$$

[3] Momento de Inércia da casca cilíndrica.

Analisando o diagrama de corpo livre mostrado na Figura 02 e aplicando a segunda lei de Newton para rotações à roldana.

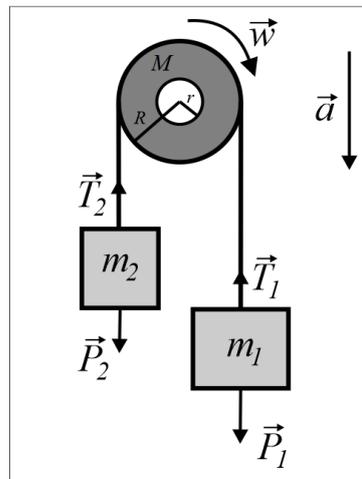


Figura 02: Diagrama de corpo

$$\tau_{res} = I\alpha \rightarrow$$

$$T_1R - T_2R = I\alpha$$

$$(T_1 - T_2)R = \frac{Ia}{R} \quad [4]$$

Aplicando a segunda lei de Newton para cada um dos blocos, temos:

$$m_1g - T_1 = m_1a \rightarrow T_1 = m_1(g - a) \quad [5]$$

$$m_2g - T_2 = -m_2a \rightarrow T_2 = m_2(g + a) \quad [6]$$

Substituindo [5] e [6] em [4]:

$$[m_1(g - a) - m_2(g + a)]R = \frac{Ia}{R} \rightarrow$$

$$m_1g - m_1a - m_2g - m_2a = \frac{Ia}{R^2} \rightarrow$$

$$-m_1a - m_2a - \frac{Ia}{R^2} = m_2g - m_1g \times (-1) \rightarrow$$

$$m_1a + m_2a + \frac{Ia}{R^2} = (m_1 - m_2)g \rightarrow$$

$$a \left( m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2} \right) = (m_1 - m_2)g \rightarrow$$

$$a = \frac{(m_1 - m_2)g}{\left( m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2} \right)} \quad [7] \quad \text{Expressão geral para qualquer tipo de roldana.}$$

Substituindo [3] em [7] e considerando o modulo de  $a$  e  $g$  a equação [8]:

$$\boxed{a_y = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2 + \frac{M(R^2 + r^2)}{2R^2}} g} \quad [8] \quad \text{Expressão para a aceleração do sistema.}$$

Substituindo os valores das variáveis, temos:

Tabela 02: Resultados teoricamente obtidos para a aceleração do sistema.

	$m_1 = x \cdot m_2$
--	---------------------

Massa ( $kg$ )	$x = 3$	$x = 4$	$x = 5$	$x = 6$	$x = 7$	$x = 8$	$x = 9$	$x = 10$	$x = 11$
Aceleração ( $m/s^2$ )	0,77	0,11	1,43	1,72	1,99	2,25	2,49	2,72	2,93

De posse desses resultados, foi feita uma comparação dos valores da aceleração obtidos experimentalmente com os obtidos a partir do problema. Esses resultados encontram-se na tabela 03.

Tabela 03: Comparação entre os resultados experimentais e teóricos obtidos para aceleração do sistema.

Massa ( $kg$ )	Aceleração ( $m/s^2$ )	
	Resultado Experimental	Previsão teórica
$m_1 = x \cdot m_2$		
$m_1 = 3m_2$	0,21	0,77
$m_1 = 4m_2$	0,41	1,11
$m_1 = 5m_2$	0,63	1,43
$m_1 = 6m_2$	0,85	1,72
$m_1 = 7m_2$	0,95	1,99
$m_1 = 8m_2$	1,19	2,25
$m_1 = 9m_2$	1,32	2,49
$m_1 = 10m_2$	1,43	2,72
$m_1 = 11m_2$	1,78	2,93

Percebe-se que o resultado do problema resolvido difere do resultado experimental. Com base nisso, as mudanças nos resultados se deram por: (Marque a/as alternativa/s que julgar correta com (X) e explique com detalhes).

1. ( ) O experimento não foi realizado com precisão e por isso o resultado deu errado.

---



---



---



---



---

