

CONCEPÇÕES EPISTEMOLÓGICAS DE ESTUDANTES DE FÍSICA A PARTIR DA CORRELAÇÃO ENTRE MODELO TEÓRICO E EXPERIMENTAÇÃO: MÁQUINA DE ATWOOD COMO UM ESTUDO DE CASO

Epistemological Conceptions of Students of Physics from the Correlation between theoretical Model and Experimentation: Atwood machine as a case study

Paula Juliane Nascimento da Silva [paulajuliane.n@gmail.com]

Augusto César Lima Moreira [aclm.ufpe@gmail.com]

Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, PE, Brasil.

Recebido em: 02/04/2018

Aceito em: 11/10/2018

Resumo

A pesquisa que apresentamos é resultado do desenvolvimento do trabalho com estudantes de licenciatura em Física, no qual utilizamos como referenciais teórico-metodológicos a essência do conhecimento de Hessen (1999) para criar categorias baseadas nas visões metafísicas do problema, e a epistemologia de Bunge (1974) com a finalidade de compreender sobre o conceito de objetos modelos e modelos teóricos em Física. Nesse contexto, buscamos investigar as concepções epistemológicas de dois grupos de estudantes do referido curso analisando o perfil dos mesmos no que tange à essência do conhecimento. Participaram desta pesquisa trinta e nove estudantes, sendo trinta e três do segundo período e sete do oitavo período. A coleta de dados ocorreu através de um questionário abrangendo um confronto entre dados de um modelo teórico com os dados obtidos por um experimento. A análise dos resultados mostrou que os estudantes do oitavo período possuem ideias mais formuladas e definem com mais clareza acerca dos modelos teóricos em Física, enquanto que os estudantes do segundo período apresentaram um elevado grau de realismo natural.

Palavras Chave: Concepções Epistemológicas, Modelos Teóricos, Experimentação, Ensino de Física

Abstract

The research that we present is a result of the development of a research involving students of a licentiate course in physics, which uses as theoretical-methodological reference the essence of the knowledge of Hessen (1999) to create categories based on the metaphysical views of the problem, and the epistemology of Bunge (1974) with the purpose of understanding about the concept of objects models and theoretical models in physics. In this context, we sought to investigate the epistemological conceptions of two groups of undergraduate students in the cited previous course by analyzing their profile regarding the essence of knowledge. Thirty-nine students participated in this study, thirty-three from the second period and seven from the eighth period. Data collection took place through a questionnaire covering a comparison between data from a theoretical model and the data obtained by an experiment. The analysis of the results showed that the students of the eighth period have more formulated ideas and define more clearly the theoretical models in physics, whereas the students of the second period presented a high degree of natural realism.

Keywords: Epistemological Conceptions, Theoretical Models, Experimentation, Physics Teaching

1. Introdução

Correlacionar os conteúdos de Física ensinados em sala de aula com a realidade é uma prática de ensino frequentemente utilizada por professores que pretendem tornar o conhecimento científico mais próximo do cotidiano do aluno (JUNGES, 2011). No entanto, segundo Junges (2011), apesar dessa prática estar muito presente nas aulas de Física, nos livros textos e em discursos de professores e estudantes, ela pode levar o estudante a acreditar que os modelos teóricos estudados durante um curso de Física são uma descrição completa da realidade na qual ele, estudante, está inserido. Apesar do esforço da ciência em compreender a realidade através de modelos teóricos cada vez mais complexos - e supostamente mais “próximos da realidade” - para Bunge (1974) os modelos teóricos, por melhores que sejam, são intrinsecamente incompletos quando comparados às situações que pretende modelar. Portanto, a correlação entre os modelos teóricos e as situações (os objetos) reais (supostamente reais) que pretendem descrever, requer, por parte do professor, além da dimensão técnica do conhecimento (física, neste caso) a dimensão epistemológica do mesmo.

Este trabalho se propõe a investigar as concepções epistemológicas de dois grupos de estudantes de licenciatura em física buscando compreender o perfil dos mesmos no que tange à essência do conhecimento. Para tal, confrontaremos um modelo teórico específico com a sua versão real (experimento) de modo que, a partir das discrepâncias entre ambos (resultados teórico e experimental), os estudantes possam externalizar as suas “visões de mundo” a partir dessa problematização.

Para analisar as concepções epistemológicas dos estudantes utilizamos as categorias de essência do conhecimento dispostas por Hessen (HESSEN, 1999) que, juntamente com a epistemologia de Bunge (BUNGE, 1974), nos fornece o arcabouço teórico necessário para lidarmos tanto com o confronto entre teoria e realidade, quanto com as visões de mundo (essências do conhecimento) que daí pode-se surgir. Assim, na seção (2.1) discutiremos o essencial sobre a epistemologia de Bunge (1974) no que se refere à teoria e realidade. Na seção (2.2) faremos uma breve revisão sobre as categorias da essência do conhecimento propostas por Hessen (1999) bem como sua correlação com a epistemologia de Bunge. Nas seções (3) discutiremos, respectivamente, o modelo teórico e as ferramentas para a obtenção dos dados experimentais da máquina de Atwood. Na seção (4) detalharemos a metodologia. Na seção (5) apresentamos os resultados, discussões e perspectivas, e por fim, as considerações finais na seção (6).

2. Fundamentação Teórica

2.1 Epistemologia de Bunge: Modelos Teóricos e Objetos-modelos em Física

Embora o uso do termo modelo teórico e objeto modelo não sejam frequentemente utilizados, seus respectivos significados são fundamentais para entender o processo de construção de conceitos científicos. Segundo Schroeder (2009) os objetos concretos do mundo servem como base para a compreensão de conceitos científicos. No qual, para Bunge (1974) a apreensão de um objeto (ou um fenômeno) real, paradoxalmente, começa com uma esquematização desse objeto/fenômeno, “retirando” dele características que julgamos sem importância, acrescentando hipóteses (não-observáveis) precisas, criando-se assim os objetos-modelo ou modelos conceituais. Segundo Bunge (1974, p.13, 14), nesse processo de criação:

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.

Os objetos-modelo são construídos a partir da observação crítica e suposições acerca dos objetos reais. Assim sendo, eles são dotados tanto de propriedades reais quanto de propriedades, necessariamente, idealizadas. Pode-se ainda acrescentar elementos hipotéticos (não-observáveis) que complicam o objeto modelo e torna-o cada vez mais complexo ao mesmo tempo em que grande parte de pormenores (observáveis) podem ser deliberadamente ignorados. Todavia, a criação de um objeto-modelo de nada vale se não inserirmos este último em uma teoria geral para se obter o que Bunge chama de modelo teórico. Mecânica estatística, mecânica clássica (Newtoniana), termodinâmica, mecânica quântica, dentre outras, são exemplos de teorias gerais. As teorias gerais, por si mesmas, são incomprováveis visto que, a priori, não se referem a nenhum fenômeno em particular. É o modelo teórico que será usado como uma explicação e, portanto, confrontado com a realidade. Bunge (1974, p. 16), por exemplo, afirma 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.

A partir do momento em que criamos um objeto-modelo e o inserimos em uma teoria geral, passamos a ter uma teoria específica para descrever algum fenômeno em particular, ou seja, passamos a ter um modelo teórico do fenômeno. Nesse sentido, três fatores possuem papel de destaque na teoria de Bunge. O primeiro fator consiste em admitir um objeto real independente da consciência e, portanto, a suposição de uma realidade que pode ser modelada. O segundo fator estabelece que, apesar de incompleto, na relação de modelagem, o objeto-modelo “substitui” o objeto concreto, ou seja, os modelos teóricos versam sobre os objetos-modelo e não sobre os objetos reais, mesmo que sua finalidade seja explicar este último. O terceiro fator, diz respeito à falha - no sentido de discrepâncias entre o modelo e o fenômeno - de um modelo teórico: não se pode afirmar a priori se o problema está na teoria geral, no modelo teórico ou em ambos. A título de exemplo, segue no quadro 1 um resumo sobre as idéias (teoria geral, objeto modelo, modelo teórico) discutidas agora pouco.

Quadro 1: Exemplos de Teoria Geral, Objeto Modelo, Modelo Teórico.

COISA OU FATO	OBJETO MODELO	TEORIA GERAL	MODELO TEÓRICO
Elevador	Dois pesos de massas distintas ligados por um fio inextensível de massa desprezível que passa por uma roldana de massa também desprezível.	Mecânica Clássica Newtoniana	Máquina de Atwood
Espectro vibracional de uma molécula diatômica	Duas massas pontuais conectadas harmonicamente por uma mola de constante K .	Mecânica Quântica	Oscilador Harmônico quântico
Atração entre dois anéis magnetizados	Duas espiras com corrente elétrica distantes uma da outra.	Eletromagnetismo	Interação entre dipolos magnéticos

Fonte: Elaborado pelos autores.

Diante do exposto e, dado que o fenômeno do conhecimento implica em uma relação sujeito-objeto, quando levamos em conta as ideias de Bunge (1974) vemos que a consciência cognoscente (o sujeito) se comporta de maneira ativa em relação ao objeto a ser apreendido. Tal

fato deve-se ao processo de criação dos objetos-modelo. Mas e se o objeto a ser apreendido for o próprio modelo teórico? Note que neste caso, apesar de pressupor realismo, o modelo teórico em si é uma idealização. Como fica a correlação sujeito-objeto quando o objeto a ser apreendido consiste em um modelo teórico? Dito de outra forma, quando determinado conteúdo é ensinado com grande ênfase na resolução de problemas envolvendo modelos teóricos, qual o grau de realismo que tais modelos teóricos passam a ter para o sujeito? Essa é a pergunta básica que norteia este trabalho e para abordá-la utilizaremos as categorias (metafísicas) de Hessen (1999) referentes à essência do conhecimento que serão descritas a seguir.

2.2 As Diferentes Concepções de Mundo a partir da Essência do Conhecimento

Dado que o fenômeno do conhecimento consiste em uma correlação entre sujeito e objeto, vale a seguinte indagação: é o objeto que determina o sujeito ou o contrário? Esse é um questionamento relativo ao problema da essência do conhecimento que, por sua vez, não possui uma única resposta, mas uma gama de possibilidades. Uma vez que neste trabalho pretende-se traçar – ao menos enquanto essência – o perfil epistemológico, nossas possibilidades consistem em um isomorfismo de nossas categorias de análise com as soluções metafísicas propostas por Hessen (1999), a saber: realismo (natural e crítico), idealismo e fenomenalismo. Tais essências representam diferentes concepções de mundo a partir da relação entre objeto e sujeito.

O conceito de **realismo**, tanto natural quanto o crítico, admite a existência de coisas reais independente da consciência (HESSEN, 1999). Entretanto, no **realismo natural** não ocorre uma leitura reflexiva da consciência relativa às propriedades ou características do objeto. A consciência apenas percebe as propriedades pelos sentidos sem que haja uma reflexão mais aprofundada sobre essas propriedades. Hessen (1999, p. 54) afirma que,

Os objetos correspondem 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.

Mas, e se o objeto de conhecimento for um modelo teórico? Neste caso, para um realista natural (ortodoxo), seria um absurdo não admitir que o modelo teórico não seja um ‘retrato fiel’ da realidade. Assim, esse realista (natural-ortodoxo), ao se deparar com discrepâncias entre os dados experimentais e os dados obtidos com o modelo teórico correspondente apelaria: ou para a falta de perspicácia do experimentador ou para erros na confecção do experimento, quando não a ambos. Em se tratando de um sistema dinâmico macroscópico (como a máquina de Atwood, por exemplo), tanto os conceitos de massa e força quanto as leis da dinâmica, seriam vistas como propriedades do objeto e não como construções da razão. Dessa forma, para um realista natural, a consciência cognoscente se comporta de forma passiva frente a um modelo teórico.

Um contraponto ao realismo natural é o **realismo crítico**, caracterizado por apoiar-se em reflexões crítico-epistêmicas (HESSEN, 1999). É este tipo de realismo que “dá ao sujeito” condições de perceber os modelos teóricos (objetos) com propriedades idealizadas, visto que nem todas as propriedades dos objetos reais – aos quais os modelos teóricos se referem – estão representadas na consciência do sujeito que os percebe. Segundo Hessen (1999, p. 54):

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.

Podemos relacionar esta visão epistemológica com situações onde o estudante ao se deparar com discrepâncias entre um modelo teórico e o experimento correspondente, faz observações mais cautelosas como, por exemplo, considerar fatores que tenham sido desprezados durante a formulação do modelo conceitual, a saber: o momento de inércia da roldana, a massa da corda, resistência do ar, o atrito no eixo da roldana, entre outros. Assim, um realista crítico está ciente de que algumas das propriedades contidas em um objeto-modelo que compõe o modelo teórico podem não se corresponderem – por não serem acessíveis aos sentidos – a uma propriedade do objeto real (experimento). O realista crítico está ciente que tais propriedades são ‘impostas’ pela consciência e, por tal motivo, a ontologia dessas propriedades pode ser passível de questionamentos. Isso não ocorre com o realista natural. Para este, é vedada a dúvida quanto à ontologia de propriedades não perceptíveis contidas nos modelos conceituais.

Em suma, na concepção do realismo, os objetos-modelo possuem propriedades que podem, ou não, serem consideradas reais. Mesmo em se tratando de um sujeito com pensamentos críticos, o realista acredita que a teoria pode descrever a natureza em sua essência e, portanto, ela é cognoscível. Entretanto, se para um realista crítico algumas propriedades não-perceptíveis aos sentidos, mas presentes nos modelos conceituais – oriundas da consciência cognoscente¹ – possuem caráter ontológico incerto para os realistas naturais elas são dignas de uma ‘fé cega’. Assim, se para um realista natural ortodoxo a consciência cognoscente se comporta de forma passiva frente a um modelo teórico, para um realista crítico, ocorre exatamente o contrário.

Enquanto essência, em oposição à epistemologia do realismo, tem-se o **idealismo**. Esse defende a ideia de que objetos existem apenas na consciência do sujeito, estabelecendo apenas a existência de objetos idealizados.

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, segundo Hessen (1999) não há realidade que seja independente do sujeito, ou seja, tudo que existe é idealizado pela consciência. O conhecimento relativo ao objeto é restrito por um sujeito em específico (representações pessoais e sentimentos) ou de seu psicológico, de modo que o objeto é visto apenas como um ser lógico-ideal tais como os objetos da lógica e da matemática. Um experimento de pensamento que exemplifica bem essa postura consistiria em supor que caso não existisse a humanidade não haveria objetos reais no universo já que não existiria consciência (humana). Em se tratando de objetos matemáticos, sentimentos e objetos psicológicos, o experimento chega a resultados aceitáveis. Contudo, uma variante desse experimento consistiria em considerar que, por algum motivo, a humanidade fosse repentinamente extinta. Certamente, o universo continuaria a existir sem se ‘importar’ com este fato (a ausência da humanidade), ou seja, haveria uma realidade (universo) independente da humanidade (consciência cognoscente). Em se tratando do confronto entre um modelo teórico e um experimento, um idealista convicto negaria a existência ontológica de ambos visto que, tanto o modelo teórico quanto o experimento (os fenômenos físicos) seriam idealizações da consciência, ou seja, conceitos. Não haveria, portanto, a necessidade de confronto entre teoria e realidade dado a ausência de elementos reais externos à consciência. No entanto, o idealismo, por ser o extremo oposto do realismo natural, é útil para definirmos uma concepção intermediária: *o fenomenalismo*.

Em meio aos conceitos epistemológicos de realismo e idealismo, temos a concepção de **fenomenalismo** que, segundo Hessen (1999), concorda em parte com o realismo e em parte com o

¹ Consciência cognoscente. Que tem a capacidade de adquirir conhecimento e perceber através da experiência.

idealismo. Grosso modo, é uma postura que se aproxima do realismo crítico por considerar a existência de coisas reais independentes da consciência, porém, se aproxima do idealismo ao afirmar que o sujeito jamais será capaz de conhecer a essência dos objetos, tendo que se contentar com as idealizações da consciência, 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)

Ao se deparar com discrepâncias entre os dados experimentais e os dados do modelo teórico, um fenomenalista explicaria que as discrepâncias do sistema podem ter sido causadas devido a propriedades não são conhecidas do objeto, ou seja, por fatores que vão além da capacidade de apreensão de sua consciência. Neste sentido o objeto em si é incognoscível². Considera – aproximando-se aí do realismo crítico – que há coisas reais independentes da consciência e que os modelos teóricos são falhos. Contudo, a falha de um modelo teórico – e aí se distância do realismo crítico – não decorre da incompletude do mesmo, mas da incognoscibilidade do objeto. Por ser a essência do objeto real incognoscível, o fenomenalista não precisa atribuir sempre, uma realidade às propriedades do objeto-modelo (e, conseqüentemente, do modelo teórico) que se propõe a descrever este objeto real. O objeto-modelo em muitas situações pode ser somente um objeto da consciência, desprovido de um referente real e, é neste aspecto, que o fenomenalismo se aproxima do idealismo. Assim, nessa perspectiva, o ato de conhecer um objeto na forma como se apresenta, não significa conhecer as propriedades intrínsecas ao objeto (a sua essência). 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. O fenomenalismo, porém, vai mais longe. Também são negadas às coisas e deslocadas para a consciência as qualidades *primárias* como forma, extensão, movimento e em geral todas as determinações espaciais e temporais.

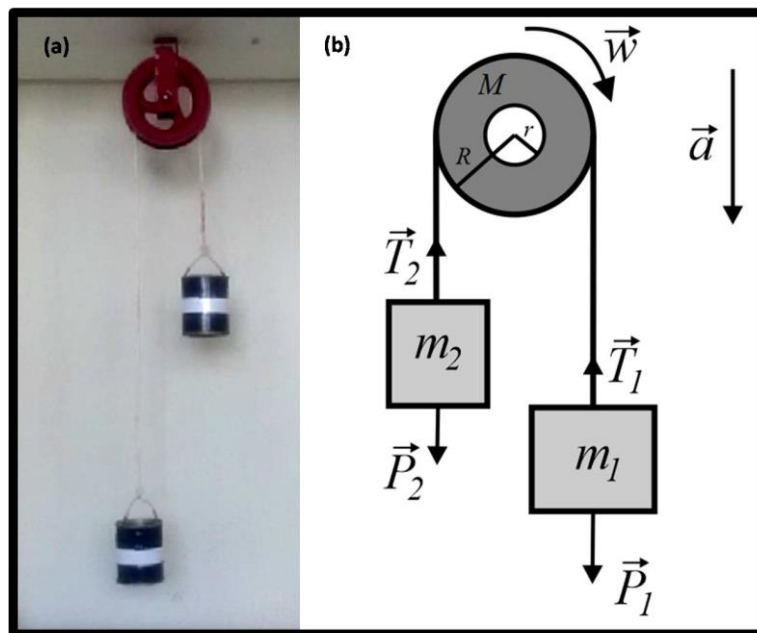
Quando tentamos analisar a epistemologia de Bunge (1974) à luz das categorias de Hessen (1999), vemos que em se tratando de objetos-modelo e modelos teóricos sua visão epistemológica converge para o realismo crítico, uma vez que apesar dos modelos teóricos não conseguirem penetrar e explicar o que é o objeto em sua essência, trata-se de uma visão que mistura tanto fatores da realidade quanto fatores idealizados pelo sujeito para se obter um modelo teórico com hipóteses previamente formuladas para explicar objetos supostamente reais. Esses objetos são cognoscíveis de modo que, mesmo as características não acessíveis aos sentidos, podem assumir um caráter ontológico ainda que a apreensão ocorra somente pela razão. Entretanto, nada garante que durante um processo de ensino-aprendizagem, com ênfase na resolução de problemas envolvendo a formulação de objetos modelos e de modelos teóricos, os atores do processo sejam ‘conduzidos’, ainda que de forma inconsciente, a adquirir uma postura realista crítica. Novamente, frisamos que é nesse contexto que as concepções epistemológicas referente ao problema da essência do conhecimento – em particular o conhecimento físico sistematizado via modelos teóricos – adquirem vital importância no processo de contextualização, sendo o foco desse trabalho. Para tal, tomaremos como pano de fundo o confronto entre os dados obtidos através de uma atividade experimental (máquina de Atwood) e seu respectivo modelo teórico, ambos descritos a seguir.

² Incognoscível. Que não é percebido pela consciência cognoscente.

3. Máquina de Atwood à luz da Segunda Lei de Newton: modelo teórico x experimento.

Na dinâmica, as leis de Newton são muito utilizadas para resolver inúmeros problemas, sendo um desses, um problema clássico denominado máquina de Atwood. 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 conforme mostra a Figura 1.

Figura 1: (a) Experimento da máquina de Atwood utilizado no trabalho. (b) Representação esquemática do experimento, contendo as forças relevantes para a obtenção das variáveis dinâmicas do sistema. **Fonte:** (a) Autores. (b) Nussenzveig (2002).



Os detalhes da solução deste problema podem ser encontrados em Nussenzveig (2002), Halliday (2009) e Marion (2013). Aqui, faremos uma breve discussão acerca do referido modelo teórico. Primeiramente, salientamos que a roldana não é ideal: trata-se de uma casca cilíndrica com raio interno r e externo R que rotaciona de modo que o modelo conceitual da roldana é 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, assume papel relevante na aceleração do sistema. O fio que prende as massas é inextensível e de massa desprezível (ideal) e desconsidera-se também a resistência do ar durante o movimento. A expressão final (ver apêndice A) para o momento de inércia (I) do modelo conceitual da roldana é dada por:

$$I = \frac{M(R^2 + r^2)}{2} \quad (1)$$

Inserindo esse modelo conceitual na dinâmica Newtoniana (conforme o diagrama de corpo livre mostrado na Figura 1b) obtemos uma expressão geral para o módulo da aceleração do sistema, que é dada por:

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

Substituindo a Eq.(1) na Eq.(2), obteremos a Eq.(3) para a aceleração do sistema proposto no problema:

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

A Eq.(3) 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.

Em se tratando da abordagem experimental, foi construído o aparato (de baixo custo) mostrado na Figura 1(a). Os dados experimentais foram obtidos com vídeo-análise, utilizando o *software* Tracker. O Tracker é uma ferramenta gratuita de aquisição de dados por meio do processamento digital de imagens voltada para o Ensino de Física. Segundo Júnior (2011), o *software* permite analisar atividades experimentais sem a necessidade de um laboratório de ciências, visto que é possível filmar o experimento em algum ambiente disponível e então explorar o experimento e processar os dados junto com os alunos. Visto que o software em si não corresponde ao escopo do trabalho. Por hora, importa a sua funcionalidade: a possibilidade da análise de vídeos, quadro a quadro, devido ao uso de uma câmera digital (câmeras de celulares ou Webcam). 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 câmeras digitais ou webcams e computadores comuns.

Assim, com uma análise quadro a quadro, pode-se analisar o movimento de objetos em função do tempo e apresentar os resultados através de tabelas e gráficos. Posteriormente os gráficos são analisados segundo as informações que se deseja obter (posição e tempo). Em especial o Tracker é aqui usado para analisar o movimento da máquina de Atwood para obter valores da aceleração de forma indireta e utilizar esses valores para fazer uma comparação com os valores obtidos por meio do modelo teórico conforme a Eq. (3). Cabe aqui (mais uma vez) realçar que ao se realizar uma atividade experimental é bem possível que os resultados medidos sejam diferentes do obtido na teoria dado que o experimento constitui a realidade à qual o modelo teórico se refere. A diferença de resultados pode então ser usada como uma forma de levantar discussões e, dependendo da forma como o professor aborde essa questão, promove no sujeito conflitos de ideias que o levaram a externalizar uma postura epistemológica.

4. Metodologia

O percurso metodológico para a investigação das possíveis concepções dos estudantes com relação à essência do conhecimento ocorreu com a participação de trinta e nove estudantes de Física-Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste, sendo trinta e três estudantes do segundo período e sete estudantes do oitavo período do mesmo curso. Ressaltamos que tanto os estudantes do segundo período quanto os estudantes do oitavo período já tinham se deparado com esse conteúdo nas aulas formais do curso. A diferença entre os períodos visa uma inquietação acerca de mudanças no perfil epistemológico que por ventura venham a ocorrer naturalmente no decorrer de um curso onde as disciplinas teóricas e experimentais são ministradas de forma independente. Para investigar e analisar as concepções dos estudantes

utilizou-se as categorias propostas por Hessen (1999) manifestada pelos mesmos quando diante de um conflito entre teoria e realidade, ou seja, envolvendo o confronto entre dados de um modelo teórico com os dados obtidos pelo experimento. Nas duas turmas foram apresentados, o experimento, vídeos do experimento analisado no Tracker e aplicado um questionário (já contendo a resolução do item *a e b* (ver apêndice A)) do seguinte problema (máquina de Atwood):

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 1b. A roldana tem massa M , e raio interno r e raio externo R . Considere que $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, despreze a resistência do ar, considere que o fio não desliza na roldana e que o conjunto é mantido inicialmente em repouso antes de iniciar o movimento. Com base nessas informações:

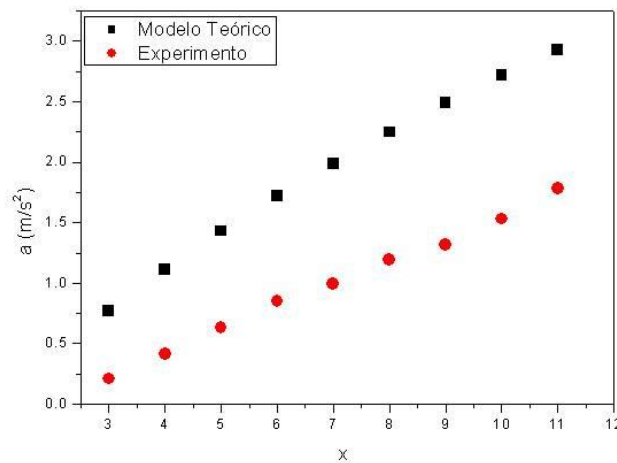
- Determine uma expressão geral para a aceleração do sistema.
- Suponha que $m_1 = x.m_2$, $R = 5 \text{ cm}$, $r = 3 \text{ cm}$ e $M = 0,42995 \text{ kg}$. Preencha a Tabela 1 para os valores pedidos de x .

Tabela 1: Valores para a aceleração do sistema.

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

O conflito ocorreu por meio dos dados dispostos na Tabela 1 obtidos com o modelo teórico descrito na seção (3), com a Eq. (3), que permitia calcular os valores das acelerações solicitadas no item (b) do problema. Por meio dos valores medidos para a aceleração através do experimento (e com o auxílio do Tracker) e, partindo-se do pressuposto que o movimento é retilíneo e uniformemente variado - cuja expressão matemática é da forma $y_{(t)} = At^2 + Bt + C$ - fez-se um ajuste dos pontos por uma função polinomial de segundo grau de onde era possível obter o módulo da aceleração (a) do sistema fazendo-se $a = 2A$. Esse procedimento foi feito para diferentes valores das massas m_1 e m_2 segundo a relação $m_1 = x.m_2$ com $x = 3$, até $x=11$. Por fim, os resultados obtidos através do Tracker foram dispostos em um gráfico conforme mostra a Figura 2, juntamente com os resultados obtidos com o modelo teórico.

Figura 2: Valores do módulo das acelerações de queda do objeto de massa m_1 obtidos com o modelo teórico e com as vídeoanálises usando o Tracker.



A partir daí, foi apresentada uma enquete aos estudantes contendo três possibilidades de respostas onde apenas uma poderia ser assinalada e devidamente justificada, são 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 nos itens 1 e 2. Cite quais.

De posse do questionário respondido pelos estudantes, a sequência natural consistiu na organização e na análise. A pesquisa foi analisada através do método qualitativo, que segundo Moreira (2011) busca interpretar os significados dos conceitos citados pelos sujeitos a uma situação específica. O estudo interpretativo das respostas dos estudantes foi subsidiado por categorias estabelecidas e fundamentadas no referencial teórico (Bunge, 1974; Hessen, 1999) que serão apresentados a seguir.

5. Resultados e Discussões e perspectivas

A partir da análise qualitativa (Moreira, 2011) e do referencial teórico (Bunge 1974; Hessen 1999) apresentamos conforme a Tabela 2, os resultados referentes as respostas dos estudantes. Os detalhes dessas categorias serão discutidos na seção 5.1.

Tabela 2: Categorias para análise das concepções dos estudantes.

Categoria/Essência	Descrição	Padrão de Resposta
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.
Realismo Crítico	O modelo teórico é incompleto para descrever o experimento (objetos reais). Contudo, as propriedades do experimento ausentes no modelo teórico, são cognoscíveis e o modelo teórico pode ser melhorado.	Respostas com ênfase na descrição do modelo teórico com menções as limitações deste último, ou seja, modelos teóricos e objetos reais não são equivalentes.
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 é incompleto para se descrever objetos reais e sempre será visto que parte das propriedades dos objetos reais são incognoscíveis.	Respostas com ênfase na descrição do modelo teórico com menções às limitações deste último vinculado ao fato de que algumas propriedades do objeto real jamais serão apreendidas por serem incognoscíveis.

Fonte: Elaborada pelos Autores a partir da análise do questionário, e fundamentadas no referencial teórico (Bunge, 1974; Hessen, 1999).

Salientamos que o realismo crítico e o fenomenalismo apresentaram padrões de respostas bem parecidas de forma que, em um primeiro momento, os argumentos dos estudantes poderiam se encaixar tanto no realismo crítico quanto no fenomenalismo. Contudo, como veremos adiante, sempre que há uma menção referente à incompletude do modelo teórico acompanhada de propriedades do experimento (objeto real) que seriam incognoscíveis, tem-se aí o fenomenalismo.

5.1 Análise qualitativa das Concepções dos Estudantes do Segundo Período

Para os estudantes recém ingressos, os modelos teóricos são representações completas da realidade e com total independência da consciência (Hessen, 1999). Tal estudante não considera a existência de objeto-modelo ou modelo conceitual como uma forma incompleta de representação do objeto real. Por tal motivo, considera o modelo teórico como sendo absolutamente verdadeiro e, ao compará-lo com o fenômeno real (objeto real) associa o erro na formulação/execução do experimento, ou seja, agrega o erro ao experimentador, considerando erros associados à imprecisão ao mensurar as variáveis relevantes. Como exemplo, temos as declarações 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 vinte e um estudantes possuem concepção de realismo natural, por acreditar que o modelo teórico deveria descrever a realidade em sua totalidade.

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.

Na categoria de realismo crítico/ fenomenalismo foram identificados oito estudantes. Essa categoria se refere às respostas com argumentos críticos acerca do modelo teórico que descreve o fenômeno. São respostas que consideram “fatores intrínsecos da natureza” tais como: a força de atrito estática (possibilidade de rolar escorregando), a resistência do ar, dentre outros.

“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 das acelerações experimentais fossem menores que o 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 a alterar o resultado da aceleração final” (Estudante S12). Esses “fatores” dão a entender que o estudante possui uma visão realista crítico na medida em que propriedades que são percebidas pelo mesmo não são consideradas no modelo conceitual fazendo com que o modelo teórico seja incompleto e não represente a realidade de forma satisfatória.

Já o estudante S16 argumenta que: “O modelo teórico provavelmente está equivocado [...] provavelmente foi a falta de consideração de algum fenômeno.” Nessa justificativa o estudante também considera o modelo teórico como sendo incompleto para descrever o experimento devido à ausência de algum fenômeno que não foi percebido pelo estudante. Note que, a ausência da percepção de um fenômeno – seja lá qual for – não implica na incognoscibilidade do mesmo. Dito de outra forma, ainda é possível uma apreensão mais efetiva do objeto real mesmo que características não sensíveis se façam presentes. Estar ciente quanto à incompletude do modelo teórico, juntamente com a fé da cognoscibilidade do real, são fatores que caracterizam o realista crítico.

5.2 Análise das Concepções dos Estudantes do Oitavo Período

Em se tratando dos estudantes do oitavo período, estes apresentaram argumentos mais bem fundamentados em relação à discrepância de resultados teóricos e experimentais, tais como:

“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 tentar-se realizar o mesmo feito. Justamente por essa peculiaridade entre conciliar o modelo teórico, a situação teórica, com a situação real.” (Estudante, O1)

A justificativa do estudante O1 apresenta informações que foram identificadas de acordo com a epistemologia de Bunge (1974), isto é, o estudante parte do conceito de objeto modelo e de

modelo teórico em sua argumentação acerca das possíveis causas da discrepância de resultados. Não obstante, o mesmo afirma que tal discrepância se deve a “considerações necessárias” de modo que uma conciliação entre teoria e realidade, seria possível caso tais considerações fossem abandonadas. Assim, tem-se noção de incompletude do modelo teórico concomitantemente com a possibilidade de apreender a essência do fenômeno, mediante o “abandono” dessas considerações necessárias, o que configura um realista crítico.

Já com estudante O5 temos uma nova situação. Este, explica que há controvérsias entre teoria e realidade e por mais que se pretenda corroborá-las sempre vai haver divergências, ou seja:

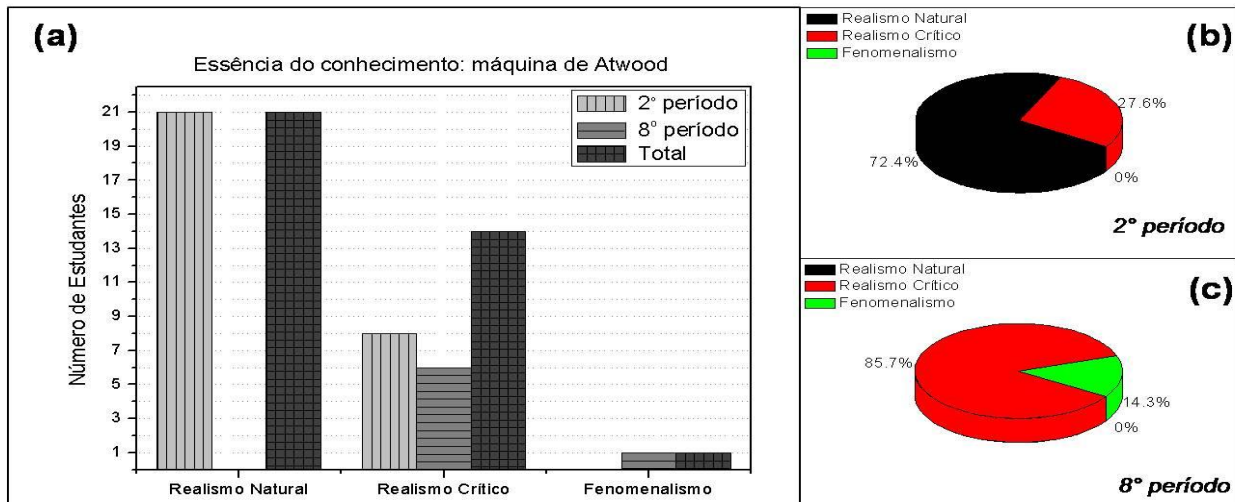
“Os resultados podem ter dado diferentes por causa que os dados teóricos são ideais e os experimentais reais. Não é que o experimento esteja errado, é que existem outros fatores que tem que se considerar ao fazer um experimento assim. Pois quanto mais variáveis se considera mais o ideal se aproxima do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

Note que na resposta acima o estudante, apesar de considerar o objeto modelo (e portanto o modelo teórico) como incompleto e, afirmar que o mesmo pode ser melhorado inserindo-se mais variáveis no modelo teórico, este último jamais descreverá na íntegra o fenômeno em questão. Dito de outra forma, a impossibilidade de uma descrição completa da máquina de Atwood pressupõe a incognoscibilidade desta e, portanto, ainda que se trate de um fenômeno macroscópico supostamente acessível aos sentidos, tem-se aí uma concepção fenomenalista enquanto essência. Salientamos que não houve estudantes na categoria de idealismo. Acreditamos que tal fato deve-se ao tipo de experimento realizado, ou seja, um aparato macroscópico, acessível aos sentidos o qual, num primeiro momento, não carece de especulações acerca de mecanismos internos não observáveis quanto ao seu ‘funcionamento’.

5.3 Resultados quantitativos de estudantes em cada categoria

A Figura 3 apresenta o gráfico do número de estudantes do segundo e oitavo período em cada categoria, bem como o gráfico de porcentagem das visões epistemológicas dos mesmos.

Figura 3: (a) Quantidade de estudantes do segundo período (linhas verticais), do oitavo período (linhas horizontais) e total (quadriculado), que se enquadram nas categorias: realismo natural, realismo crítico e fenomenalismo. (b) Percentual do segundo período e em (c) no oitavo período. **Fonte:** Os autores.



A partir da Figura 3(a) observamos que apenas oito estudantes do segundo período (27,6%) se enquadraram na concepção de realismo crítico sendo que a grande maioria (21 estudantes – 72,4%) apresentou a concepção realista natural relacionando a discrepância entre o modelo teórico e o experimento a habilidades do experimentador seja na confecção, na execução ou na coleta de dados por meio do Tracker. Já os resultados obtidos com a turma do oitavo período mostram uma inversão neste comportamento, ou seja, dos sete estudantes, seis (86%) possuem a concepção de realismo crítico, apenas um apresentou a concepção fenomenalista (14%) e não houve manifestação indicando realismo natural. Dado que essas duas categorias (realismo natural e crítico) diferem substancialmente do ponto de vista epistemológico, inquieta que realistas naturais não cheguem ao final do referido curso de licenciatura em Física. Assim, uma análise prévia desses dados nos permite fazer especulações e propor as seguintes hipóteses: (i) ou os estudantes (ao menos os remanescentes) tornam-se mais críticos ao longo do curso, ou (ii) apenas os que já possuíam uma concepção (no mínimo) realista crítica, são mais bem sucedidos no sentido de “sobreviverem” a uma espécie de “darwinismo acadêmico” onde, por meio de “seleção natural” (média de notas das provas), apenas os mais adaptáveis “sobrevivem”. De fato, esta última alternativa carece de uma análise temporal envolvendo os mesmos indivíduos ao cursarem o segundo e o oitavo períodos, respectivamente.

Intriga o fato de não existirem realistas naturais ao final do referido curso. Isso pode ser um indício de que apenas os estudantes que compreendem de fato, a diferença entre o mundo físico real e o mundo físico teórico, conseguem atribuir significados aos modelos teóricos. Dito de outra forma, os resultados sugerem que estudantes que de alguma forma são capazes de fazer (por si mesmos) uma mediação epistemológica entre os modelos teóricos e o mundo físico real, tendem a compreender de forma significativa (Moreira, 2006) esses conteúdos e, conseqüentemente, discrepâncias entre suas intuições acerca dos fenômenos reais e seus referentes teóricos, passam a não constituir um obstáculo epistemológico relevante para este estudante. Como fazer essa mediação epistemológica? Uma disciplina seria suficiente ou essa mediação deve ser uma prática cotidiana de docentes que ministram disciplinas de conteúdos específicos de Física (Física 1, 2, 3 e 4)? Neste contexto, tais questionamentos passam a ser relevantes e certamente podem vir a se tornar objetos de pesquisas futuras.

6. Considerações finais

O objetivo deste trabalho buscou compreender concepções epistemológicas de estudantes de duas turmas distintas do curso de Física, analisando essas concepções à luz da essência do conhecimento no que tange as visões de realismo, idealismo e fenomenalismo. A metodologia utilizada, baseada em um problema físico com dados experimental e dados do modelo teórico, levou os estudantes a confrontar e manifestar suas principais ideias através de questões previamente direcionadas.

As análises dos resultados apresentados nas seções 5.1 e 5.2 mostraram que os estudantes do oitavo período evidenciaram maior compreensão do modelo teórico como um aspecto inerente da física. Já os estudantes do segundo período, mesmo já tendo se deparado com o conteúdo, mostraram uma visão (preponderantemente) realista natural na medida em que atrelam as discrepâncias dos dados a situações reais, evidenciando a existência de um grau elevado de realismo dos modelos teóricos em Física. Portanto, podemos concluir que no decorrer do curso de licenciatura em física o estudante tende a modificar sua concepção acerca da essência dos modelos teóricos migrando de uma concepção realista natural – evidenciada nos primeiros períodos – para o realismo crítico – evidenciado nos últimos períodos.

7. Referências Bibliográficas

- 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.
- HESSSEN, Johannes; CORREIA, António. **Teoria do conhecimento**. Martins fontes, 1999.
- JÚNIOR, AG Bezerra et al. **Manual para Usuários Iniciantes no Software Tracker**. 2011.
- JUNGES, Samira. Análise do uso de analogias em livros de Física para o Ensino Médio. **Revista da Graduação**, v. 4, n. 1, 2011.
- 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.
- MARION, Jerry B. **Classical dynamics of particles and systems**. Academic Press, 2013.
- MOREIRA, Marco Antonio. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Editora Universidade de Brasília, 2006.
- MOREIRA, Marco Antônio. **Metodologias de pesquisa em ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.
- NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica**. Edgard Blücher, 2002.

SCHROEDER, Edson; FERRARI, Nadir; MAESTRELLI, Sylvia Regina Pedrosa. A construção dos conceitos científicos em aulas de ciências: contribuições da teoria histórico-cultural do desenvolvimento. **VII ENPEC Florianópolis, SC, 2009.**

Apêndice A

Questionário aplicado ao segundo e oitavo períodos de Física- Licenciatura

Caro aluno, o experimento apresentado é constituído por uma Roldana fixa, duas latinhas, 44 unidades de porcas nº 11 em que cada porca possui massa de $3,4 \times 10^{-3} \text{kg}$, fio e caixote de madeira usado como suporte para o sistema. O resultado final é mostrado na Figura A1 e através de vídeos analisados a partir do Tracker.



Figura A1: Aparato experimental-Máquina de Atwood. **Fonte:** Autores.

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 do problema.

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 1b. A roldana tem massa M , e raio interno r e raio externo R . Considere que $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, despreze a resistência do ar, considere que o fio não desliza na roldana e que o conjunto é mantido inicialmente em repouso antes de iniciar o movimento. Com base nessas informações:

- c) Determine uma expressão geral para a aceleração do sistema.
- d) Suponha que $m_1 = x.m_2$, $R = 5$ cm, $r = 3$ cm e $M = 0,42995$ kg. Preencha a Tabela 1 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:

$$\begin{aligned}
 I &= \int_r^R r'^2 2\pi L \rho r' dr' \\
 &= 2\pi L \rho \int_r^R r'^3 dr' = \frac{2\pi L \rho r'^4}{4} \Big|_r^R = 2\pi L \rho \left[\frac{R^4}{4} - \frac{r^4}{4} \right] = \frac{\pi L \rho}{2} [R^4 - r^4] \\
 \boxed{I = \frac{\pi L \rho}{2} [R^4 - r^4]} & \qquad \qquad \qquad (A1)
 \end{aligned}$$

$$M = \pi L \rho [R^2 - r^2] \rightarrow \boxed{\rho = \frac{M}{\pi L [R^2 - r^2]}} \qquad \qquad \qquad (A2)$$

Substituindo a Eq. (2) em (1) temos o momento de Inércia da casca cilíndrica.:

$$\boxed{I = \frac{M}{2} (R^2 + r^2)} \qquad \qquad \qquad (A3)$$

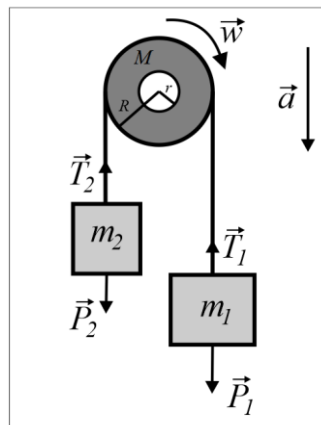


Figura A2: Diagrama de corpo livre. **Fonte:** Nussenzveig (2007).

Analisando o diagrama de corpo livre mostrado na Figura A2 e aplicando a segunda lei de Newton para rotações

$$\tau_{res} = I\alpha \rightarrow T_1 R - T_2 R = I\alpha$$

$$(T_1 - T_2)R = \frac{Ia}{R} \quad (A4)$$

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

$$m_1g - T_1 = m_1a \rightarrow T_1 = m_1(g - a) \quad (A5)$$

$$m_2g - T_2 = -m_2a \rightarrow T_2 = m_2(g + a) \quad (A6)$$

Substituindo a Eq. (A5) e (A6) em (A4):

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

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

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

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

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

$$a = \frac{(m_1 - m_2)g}{\left(m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2} \right)} \quad (A7)$$

Substituindo a Eq. (A3) em (A7) e considerando o módulo de a e g , obtemos a equação (A8):

$$a_y = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2 + \frac{M(R^2 + r^2)}{2R^2}} g \quad (A8)$$

Substituindo os valores das variáveis, temos a tabela 02.

Tabela 02: Resultados teoricamente obtidos 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)	0,77	0,11	1,43	1,72	1,99	2,25	2,49	2,72	2,93

De posse desses resultados, a Tabela 03 apresenta os valores da aceleração obtidos experimentalmente através do Tracker e os valores da aceleração do sistema obtidos a partir do problema.

Tabela 03: Resultados experimentais e teóricos 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;
- 2) o problema resolvido não condiz com o experimento;
- 3) outros motivos não especificados nos itens 1 e 2. Cite quais.