

UM ESTUDO SOBRE INDÍCIOS DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA EM ATIVIDADES EXPERIMENTAIS COM ENFOQUE NO PROCESSO DE MODELAGEM CIENTÍFICA NO ENSINO MÉDIO

A study about meaningful learning evidences in experimental activities focused on the scientific modeling process in middle school

Camila Brito Collares da Silva [camilabcollares@gmail.com]

Pedro Fernando Teixeira Dorneles [pedrodorneles@unipampa.edu.br]

Universidade Federal do Pampa

Av. Maria Anunciação Gomes de Godoy, 1650, Bagé, CEP 96413-172, RS, Brasil

Leonardo Albuquerque Heidemann [leonardo.h@ufrgs.br]

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, CEP 91501-970, RS, Brasil

Recebido em: 15/06/2020

Aceito em: 28/10/2020

Resumo

Investigar os resultados da implementação de atividades experimentais que envolvem estudantes de Educação Básica ativamente na tomada de decisão sobre o delineamento de experimentos, passando pela coleta e análise de dados até a construção de conclusões baseadas em evidências, é o foco do presente trabalho. Adaptando a metodologia de Episódios de Modelagem, já utilizada no Ensino Superior, para o Ensino Básico, implementamos duas atividades em uma turma de Ensino Médio: uma sobre pêndulos e outra sobre geração de energia elétrica. Especificamente, buscamos indícios de aprendizagem significativa, entendida na acepção de David Ausubel, quando grupos de alunos realizam atividades focadas no processo de modelagem científica. Respondemos a seguinte questão de pesquisa: *Como a modelagem científica pode propiciar melhores condições para a ocorrência da aprendizagem significativa de conhecimentos científicos durante a realização de atividades experimentais na Educação Básica?* Encontramos indícios de que, dos cinco grupos de alunos investigados, quatro demonstraram evidências de aprendizagem significativa.

Palavras-chave: Modelagem Científica. Episódios de Modelagem. Ensino Médio. Pêndulos. Geradores Elétricos.

Abstract

Investigate the results of the implementation of experimental activities which actively involve Primary Education students in the decision making about the outlining of experiments, ranging from data analysis and collection, to the construction of evidence based conclusions is the focus of the present paper. Adapting the methodology of Modeling Episodes, already used in Higher Education, to Primary Education, we implemented two activities in a High School Class: one about pendulums and another about electric energy. Specifically, we sought indications of meaningful learning, as defined by David Ausubel, when groups of students do activities focused on the process of scientific modeling. We answered the following research question: *How can scientific modeling provide better conditions for the occurrence of meaningful learning of scientific knowledge during experimental activities in Primary Education?* We have found evidence that, of the five investigated student groups, four have demonstrated evidence of meaningful learning.

Keywords: Scientific Modeling. Modeling Episodes. High school. Pendulums. Electric Generators.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios de um professor em sala de aula é proporcionar aos alunos a conscientização da relevância dos conteúdos, promovendo o engajamento deles nas atividades para que atuem como protagonistas na construção dos seus próprios conhecimentos. A passividade dos estudantes frequentemente identificada nas salas de aulas pode estar relacionada à maneira como os conteúdos são abordados. Na maioria das vezes, o professor assume o papel de detentor do conhecimento e os alunos, sentados e enfileirados, copiam o conteúdo exposto no quadro, que muitas vezes é o mesmo disponibilizado em seu livro-texto (MOREIRA, 2010, p. 2). Esse modelo de aula não costuma estimular o estudante, já que somente ocorre transmissão de conhecimento declarativo por parte do professor, enquanto o aluno somente escuta, sem interagir e compartilhar suas ideias. Segundo Moreira, centrar o ensino no aluno não implica negar a existência de conteúdos que necessariamente devem ser debatidos, mas sim que o professor promoverá situações em que ele é o responsável pela sua aprendizagem, ou seja, o aluno buscará identificar quais conceitos precisarão ter novos significados na sua estrutura cognitiva (*ibid.*, p. 5). Dessa forma, o aluno passa a compreender seu papel dentro da sala de aula, dando significado, ou não, a seu novo conhecimento.

Com o propósito de promover o engajamento do aluno durante as aulas, favorecendo que ele se compreenda como parte essencial da construção do seu conhecimento, buscamos uma proposta diferenciada das aulas tradicionais. Identificamos no uso da metodologia de Episódio de Modelagem (HEIDEMANN, 2015) uma alternativa que propicia a realização de atividades experimentais, dentro da sala de aula de Física do Ensino Médio, de forma contributiva e integrada à teoria que está sendo estudada, sem a necessidade de haver um momento ou um espaço isolado para elas. Com essa perspectiva, desenvolvemos uma adaptação para o Ensino Médio dos Episódios de Modelagem propostos por Heidemann (2015), de modo a introduzir os conceitos da modelagem científica e assim oportunizar aos estudantes de uma escola pública a investigação de relações existentes entre teorias e prática. Partimos da hipótese de que, por promover a construção de relações entre teorias e realidade, o enfoque no processo de modelagem científica pode favorecer que os estudantes relacionem conceitos científicos abstratos com conhecimentos prévios dos estudantes. Em outras palavras, assumindo as ideias de David Ausubel (MOREIRA, 2006), entendemos que o enfoque na modelagem científica pode favorecer a ancoragem de conceitos científicos na estrutura cognitiva dos estudantes, promovendo a aprendizagem significativa desses conceitos.

Em uma análise dos artigos publicados em três das mais importantes revistas científicas nacionais da área¹, encontramos 11 artigos em que a modelagem científica é mobilizada como um procedimento teórico e metodológico a ser utilizado no Ensino de Física. Todavia, tratam-se de trabalhos voltados para o Ensino Superior, razão pela qual em nossa pesquisa precisamos adaptá-los para o Ensino Médio. Nesse movimento, tomamos as ideias de Schwarz et al. (2009), que mostra que o enfoque na modelagem científica no Ensino Básico é viável e promissor.

Para o desenvolvimento desta investigação, partimos da seguinte questão de pesquisa: *“Como a modelagem científica pode propiciar melhores condições para a ocorrência da aprendizagem significativa de conhecimentos científicos durante a realização de atividades experimentais na Educação Básica?”*. Para respondê-la, iniciamos a implementação das atividades com a aplicação de questionários iniciais, investigando os conhecimentos dos alunos a respeito dos

¹ Esta pesquisa bibliográfica foi publicada nos anais do XI ENPEC (Autor 1 e Autor 2, 2017). Foram revisados os seguintes periódicos: *Revista Brasileira de Ensino de Física* (até o nº 3 do volume 39); *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* (até o nº 3 do volume 33); *Ciência e Educação* (até o nº 4 do volume 22).

conceitos envolvidos em cada um dos episódios. Com estes conhecimentos e ao longo do desenvolvimento das etapas, procuramos desenvolver os materiais necessários para as atividades de forma que elas fizessem sentido para os alunos. Também procuramos proporcionar o contato com diferentes formas de coleta e análise de dados. Duas atividades inspiradas nos Episódios de Modelagem foram delineadas, implementadas e avaliadas, sendo um sobre o modelo de pêndulo simples, e outro sobre o conceito de geração de energia elétrica. Para o desenvolvimento das atividades, os alunos se dividiram em cinco grupos, realizando as três principais etapas previstas na metodologia, sendo elas: i) discussão inicial; ii) investigação e iii) discussão final. Nelas, os alunos precisaram se envolver e discutir com os colegas os conceitos que estavam sendo estudados.

Com estas atividades, colocamos os alunos em uma nova dinâmica de sala de aula, permitindo que realizassem questionamentos e reflexões e, principalmente, vinculassem os conceitos físicos estudados com situações reais e de laboratório. No que segue, expomos a fundamentação epistemológica e teórica do estudo, as metodologias de ensino e de pesquisa implementadas e, por fim, os resultados da investigação.

FUNDAMENTAÇÃO EPISTEMOLÓGICA

Cientes de que o termo modelagem científica é polissêmico (KRAPAS, et al., 1997; LOUCA e ZACHARIA, 2012), adotamos a concepção construída pelo epistemólogo Mario Bunge (2013), que se denomina um realista científico e estabelece um vínculo entre teorias e realidade por meio da modelagem científica. Nesse processo, definida uma questão a ser estudada sobre um fenômeno, é preciso delinear um objeto-modelo que se refere a uma representação esquemática conceitual da realidade. Em síntese, o objeto-modelo é uma descrição simplificada de um estado ou evento real. Como exemplo disso, em uma situação idealizada, pode-se considerar um fio como sendo inextensível, porém, sabe-se que na natureza todos os fios possuem elasticidade.

A determinação de um objeto-modelo (e.g., sistema de partículas termicamente isolado que não interagem entre si), associada a uma teoria geral (e.g., Mecânica Estatística), possibilita a construção de modelos teóricos (e.g., modelo de gás ideal clássico). Como as teorias gerais não se pronunciam sobre eventos particulares, é por meio da implementação em modelos teóricos que as teorias gerais ganham sentido. Desse modo, modelos científicos são os mediadores entre teorias e realidade. De acordo com Heidemann (2015, p. 49), “[...] *Todo modelo teórico versa, em última análise, sobre objetos reais ou supostos como tais*”. O mesmo objeto-modelo pode ser utilizado para representar vários objetos reais ou supostos como tais, que são chamados de “referentes”. A complexidade de tal modelo estará relacionada à quantidade de referentes que ele for capaz de abranger e à fidedignidade com que tais elementos são incorporados aos modelos.

Por meio da experimentação, que para Bunge envolve um pequeno conjunto de fatos observáveis de um universo de fatos reais, são obtidos resultados empíricos que devem ser contrastados com as previsões construídas a partir do modelo teórico gerado. Com isso, é possível avaliar o grau de precisão desse modelo teórico e, assim, analisar até que ponto o objeto-modelo e a teoria geral escolhida são adequados para representar o sistema físico satisfatoriamente. Sinteticamente, em um experimento, alguma mudança é deliberadamente provocada em um evento real ou suposto como tal, e se observa e interpreta suas implicações. Esse evento é artificial no sentido de que ele é controlado para que os efeitos decorrentes dos elementos desprezados no modelo teórico contrastado ou investigado sejam minimizados. Por exemplo, é usual que sejam usados trilhos de ar em experimentos didáticos com a finalidade de minimizar efeitos de forças resistivas. Desse modo, fica claro que, para Bunge, os experimentos são dirigidos por ideias teóricas prévias. Essa concepção sobre modelo científico e de experimento pautou o delineamento e o desenvolvimento das atividades implementadas, dirigindo tanto as ações da professora dentro da sala de aula como as tarefas relacionadas com a investigação realizada.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A teoria de Ausubel, que orienta a investigação realizada, preconiza que a aprendizagem decorre da associação de novos conceitos a conceitos preexistentes na estrutura cognitiva do aluno. Segundo Moreira (2011, p. 13), “*aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe*”. Logo, a aprendizagem significativa é uma interação substantiva, não literal e não arbitrária entre subsunçores (conceitos preexistentes) e novos conhecimentos. Os subsunçores constituem a estrutura cognitiva do aluno; já os novos conhecimentos modificam esta estrutura. A estrutura cognitiva se transforma essencialmente por dois principais processos: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. A diferenciação progressiva produz novos significados a um determinado subsunçor que, por sua vez, é utilizado para dar significado a novos conceitos. Este processo está relacionado com a forma subordinada de aprendizagem significativa, que parte de conceitos mais gerais da matéria de ensino que depois serão progressivamente diferenciados em suas especificidades. Ou seja, ocorre quando um conceito adquire significado na ancoragem interativa com um conhecimento prévio relevante. Já a reconciliação integradora resolve inconsistências e integra significados. Este processo se relaciona à forma superordenada da aprendizagem significativa, que parte de conceitos específicos, isto é, elementos existentes na estrutura cognitiva que reorganizam as novas informações e lhes dão novos significados.

Para que ocorra a aprendizagem significativa, há, pelo menos, duas condições: a predisposição do aluno para aprender e a disponibilização de materiais potencialmente significativos por parte do professor. O material, por sua vez, precisa ser relacionável com a estrutura cognitiva do aluno e deve dar significado aos novos conhecimentos. Ambas as condições devem ser satisfeitas simultaneamente. O professor, por meio de diferentes estratégias, deve trazer novos significados ao aluno, de modo que ele possa perceber sua importância e buscar internalizá-los. Neste sentido, o papel do professor como mediador está diretamente ligado à predisposição do aluno para aprender, pois a maneira como os conceitos são apresentados deve levar em consideração o que fará sentido para ele para que possa haver construção de significados.

Baseado neste referencial teórico, buscamos criar condições para a ocorrência da aprendizagem significativa por meio da utilização da metodologia de Episódios de Modelagem, buscando estabelecer relações entre os conceitos físicos estudados e as situações cotidianas do aluno. Desta forma, almejamos a ocorrência da diferenciação progressiva, de modo que os alunos possam dar novos significados a conceitos específicos a partir de conceitos gerais. Somado a isto, a realização da experimentação pode possibilitar a reconciliação integrativa para que o aluno possa resolver incertezas adquiridas anteriormente. Para a avaliação desta proposta, buscaremos indícios de alcance das duas condições para a aprendizagem significativa e de evidências da ocorrência de interações não arbitrárias e substantivas durante a realização das atividades. Para cada objetivo de aprendizagem proposto para os Episódios de Modelagem desenvolvidos (Quadros 1 e 2), analisamos os indícios de aprendizagem significativa de cada grupo. Para esta análise, atribuímos uma categoria do nível de aprendizagem alcançado em cada objetivo estabelecido, como será explicitado na seção de Metodologia de Pesquisa.

METODOLOGIA DE ENSINO

Os Episódios de Modelagem (HEIDEMANN, 2015) são uma metodologia de ensino para o desenvolvimento de atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica. Construída a partir da Modelagem Didático-Científica (BRANDÃO, 2012; HEIDEMANN, ARAUJO E VEIT, 2016), essa metodologia é também pautada pelas ideias de Bunge (2013). Para o desenvolvimento de um Episódio de Modelagem, é necessário o estabelecimento de um problema para investigação. A partir disso, inicia-se um processo que envolve uma discussão teórica para se construir um *objeto-modelo*. No caso da atividade sobre o modelo newtoniano de pêndulo simples, por exemplo, o atrito do ar, a elasticidade e a massa do fio de sustentação são desprezados. Essa descrição simplificada propicia a criação de um *modelo teórico* pautado em uma *teoria geral* (e.g., Mecânica Newtoniana), que representa um pêndulo de laboratório, que é um evento controlado de modo a minimizar os efeitos dos elementos desprezados no modelo teórico que dirige a investigação. A *contratação* experimental envolve, então, comparações entre evidências empíricas e previsões construídas com o modelo teórico estudado. A partir dessas ações, e de discussões sobre as relações entre o pêndulo de laboratório e eventos externos não controlados, espera-se que os alunos se tornem capazes de reconhecer situações de sua vivência que possam estar vinculadas com o modelo teórico investigado. Da mesma forma, espera-se que as vivências dos estudantes sejam utilizadas como subsunçores, favorecendo uma aprendizagem significativa. Por exemplo, espera-se que os estudantes vinculem o movimento do pêndulo de laboratório com o movimento de uma criança em um balanço. Ao focar a atividade na modelagem científica, objetiva-se neste estudo fomentar a aprendizagem significativa e, de modo distinto de perspectivas empiristas indutivistas-ingênuas, que se utilizam da experimentação para supostamente “provar” ou “descobrir” leis científicas, propiciar aos alunos uma avaliação do domínio de validade de modelos teóricos.

As atividades propostas foram implementadas em uma turma do 3º ano do Ensino Médio de uma escola da rede estadual de ensino localizada no centro da cidade de Bagé/RS. A escola atende alunos dos níveis de ensino: Fundamental I; Fundamental II; Médio e Educação de Jovens e Adultos, totalizando 1234 alunos (Censo Escolar 2016) entre seus três turnos de funcionamento. Conta-se com uma biblioteca, um laboratório de informática e um laboratório de ciências que não costuma ser utilizado pelos professores, principalmente porque não possui estrutura adequada que comporte uma turma de 30 alunos, por exemplo. A turma em que foi realizada a aplicação da proposta foi escolhida por indicação da professora regente. Fomos alertados de que se tratava de uma turma bastante agitada, composta inicialmente por 30 alunos, entre 16 e 18 anos. Ao longo do desenvolvimento dos dois Episódios de Modelagem, no entanto, este número foi reduzido para 27 alunos.

Inspirados pela proposta de Heidemann, Araujo e Veit (2016, p. 1504-3)², os Episódios de Modelagem foram estruturados em três etapas principais:

i) discussão inicial: realizada a partir de uma exposição dialogada, apresentamos aos alunos situações reais relacionadas aos tópicos trabalhados (movimento do pêndulo e geração de energia). Tais situações foram associadas a uma teoria geral referente aos temas propostos. Ainda nessa etapa, foi necessário realizar uma discussão conceitual sobre as teorias gerais, pois os alunos não haviam estudado tais conceitos. Para finalizar essa etapa, o problema a ser investigado foi proposto.

ii) investigação: os alunos se dividiram em grupos para então realizar as investigações experimentais. Cada grupo recebeu um guia experimental contendo uma introdução teórica sobre o tema; questões sobre o problema a ser investigado e três sugestões de experimentos. Os materiais

² Devido à conjuntura de aplicação da atividade, não pudemos solicitar aos alunos a realização de uma tarefa prévia, que é prevista na metodologia de Episódios de Modelagem.

necessários para a realização dos experimentos foram disponibilizados em uma mesa, assim todos os grupos podiam decidir quais utilizariam. Junto ao guia experimental, os grupos receberam um guia com questões norteadoras sobre cada processo do desenvolvimento experimental, desde o objetivo da investigação até as conclusões experimentais.

iii) discussão final: com o objetivo de compartilhar os resultados e chegar a uma conclusão juntos, organizamos a turma em um grande círculo para que os grupos pudessem apresentar aos demais colegas suas conclusões sobre o modelo teórico investigado. Nesta etapa realizamos todos juntos uma discussão sobre as divergências e convergências entre os resultados teóricos e experimentais, evidenciando o domínio de validade e o grau de precisão do modelo investigado.

Tendo em vista que este tipo de atividade não é comum nas salas de aula do Ensino Básico, nós as adaptamos para que os processos fossem realizados com os alunos do Ensino Médio, de modo que apresentassem relações entre os conteúdos e os conhecimentos prévios dos estudantes, e possuíssem uma estrutura lógica, buscando a construção de um material potencialmente significativo na acepção de Ausubel (1968 *apud* Moreira, 2006). Procuramos estruturar cada etapa dos episódios de forma clara e sucinta para que os procedimentos apresentados fizessem sentido para os alunos. Para isso, desenvolvemos questionários norteadores com o objetivo de incentivá-los a refletir sobre o problema proposto, diferentemente do que ocorre nas implementações da metodologia no Ensino Superior, onde os alunos devem buscar por si só meios de resolver os problemas propostos. A preparação das aulas também foi essencial para o desenvolvimento dos episódios. Utilizamos imagens que auxiliassem os alunos a relacionar os conceitos teóricos a seus conhecimentos preexistentes, como suas experiências cotidianas. Quando necessário, o mesmo conceito era explicado mais de uma vez, de formas diferentes e com uma linguagem mais acessível aos alunos. Buscamos também elementos para despertar o interesse dos alunos, como as seguintes ferramentas: placa microcontrolada Arduino, Vídeo Análise e Clickers (Autor 1 e Autor 2, 2018).

De acordo com Schwarz *et al.* (2009), para buscar o engajamento dos alunos é importante inicialmente deixar claro o que será realizado em aula, bem como os objetivos propostos. Tais objetivos devem fazer sentido para o aluno, ou seja, ele precisa entender o motivo pelo qual determinado conceito está sendo estudado. Desta forma, as aulas utilizadas para cada episódio foram organizadas em três etapas, que foram sistematizadas como mostram os Quadros 1 e 2.

Quadro 1: Cronograma das atividades realizadas no Episódio de Modelagem I³

Aulas	Cronograma das atividades	Atividades desenvolvidas	Objetivos de aprendizagem: os estudantes devem se tornar capazes de...
1 – 6	Discussão Inicial	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apresentação, por parte da professora, sobre modelagem científica e discussão conceitual sobre oscilações 2. Aplicação do questionário inicial I 3. Realização do experimento inicial 4. Discussão conceitual sobre pêndulo simples e análise gráfica 	<ol style="list-style-type: none"> I. Estabelecer procedimentos para medir experimentalmente o período de um pêndulo de laboratório. II. Identificar que resultados construídos com base no modelo teórico de referência podem não convergir com resultados experimentais.
7 – 12	Investigação	<ol style="list-style-type: none"> 5. Proposição de estratégias de desenvolvimento experimental 6. Montagem de um aparato experimental 7. Coleta e análise de dados teóricos e 	<ol style="list-style-type: none"> III. Determinar o período de um pêndulo de laboratório a partir de um gráfico de posição <i>versus</i> tempo. IV. Encontrar o período de oscilação de

³ Os materiais utilizados para o desenvolvimento das aulas podem ser encontrados em: “link omitido para resguardar a identidade dos autores”

		experimentais	um pêndulo de laboratório com a alteração dos seguintes parâmetros: comprimento do fio; massa do objeto oscilante e amplitude de oscilação.
13	Discussão Final	8. Discussão em grupo sobre as conclusões das investigações realizadas	V. Realizar discussões sobre as convergências e divergências entre os resultados teóricos e experimentais, evidenciando o domínio de validade e o grau de precisão do modelo investigado.

Fonte: Autores

Quadro 2: Cronograma das atividades realizadas no Episódio de Modelagem II

Aulas	Cronograma das atividades	Atividades desenvolvidas	Objetivos de aprendizagem
1 – 3	Discussão Inicial	1. Aplicação do questionário inicial II 2. Introdução ao Episódio de Modelagem 3. Discussão conceitual sobre geração de energia elétrica	I. Identificar e diferenciar formas de geração de energia elétrica.
4 – 12	Investigação	4. Desenvolvimento experimental – imãs, bobinas e galvanômetro 5. Demonstração de um gerador elétrico de laboratório 6. Visita técnica à usina termoeletrica	II. Prever o comportamento da força eletromotriz a partir da interação de imãs e bobinas. III. Caracterizar o funcionamento de um gerador elétrico e identificar o comportamento da força eletromotriz de acordo com a alteração da velocidade de rotação do motor, do número de espiras em uma bobina e a distância entre imãs e bobinas.
13	Discussão Final	7. Aplicação do questionário sobre a visita técnica 8. Discussão em grupo sobre as conclusões das investigações realizadas	IV. Realizar discussões sobre as convergências e divergências entre o funcionamento de um gerador elétrico de laboratório e o de um gerador elétrico convencional, destacando que os experimentos de laboratório são controlados e dirigidos por um modelo de referência.

Fonte: Autores

METODOLOGIA DE PESQUISA

Como mencionado, esta proposta teve como objetivo principal evidenciar a importância da inserção de atividades experimentais de forma contextualizada tanto com a teoria estudada quanto com a realidade em que o aluno está inserido. Para que isso ocorresse, buscamos indícios que evidenciassem como a modelagem científica pode contribuir para a aprendizagem dos alunos, vinculando teoria e prática no ensino de Física. Para isso, os grupos de alunos foram instigados a desenvolver um processo de modelagem científica e refletir sobre ele por meio de etapas predeterminadas, que auxiliaram no desenvolvimento da busca pelo vínculo entre dados teóricos e experimentais. Como forma de avaliar o desenvolvimento dos alunos ao longo das atividades propostas, levou-se em conta, a partir de observações e questionamentos, o desempenho dos grupos de trabalho na realização das etapas, bem como o envolvimento de cada aluno no seu grupo. Visto que os eventos estudados não tinham limites bem definidos, optamos por utilizar a metodologia de estudo de caso de Robert Yin (2010). Essa metodologia “[...] permite que os investigadores retenham as características holísticas e significativas dos eventos da vida real – como [...] o comportamento dos pequenos grupos, [...] o desempenho escolar, [...]” (YIN, 2010, p. 24).

Segundo Yin (2010), os estudos de caso podem ser descritivos, exploratórios ou explanatórios. Este estudo é caracterizado como exploratório, pois “*busca um levantamento de hipóteses ou proposições norteadoras para embasarem pesquisas futuras*” (DORNELES, 2010, p. 98). De acordo com Yin (2010), existem cinco componentes importantes para o desenvolvimento de um projeto de estudo de caso, a saber: i) as questões do estudo; ii) as proposições (se houver); iii) a(s) unidade(s) de análise; iv) a lógica que une os dados às proposições; e v) os critérios para interpretar as constatações. Para este autor, a proposição norteadora traz uma importante compreensão teórica e direciona o pesquisador para sua busca de evidências relevantes. A pesquisa realizada foi caracterizada por envolver uma única unidade de análise em uma única instituição, correspondendo à turma em que foram desenvolvidos os Episódios de Modelagem, por isso é definida como um estudo de caso holístico exploratório. Com o objetivo de levantar proposições norteadoras para propiciar futuras pesquisas, buscamos responder a seguinte questão de pesquisa: *Como a modelagem científica pode propiciar melhores condições para a ocorrência da aprendizagem significativa de conhecimentos científicos durante a realização de atividades experimentais na Educação Básica?*

A busca por evidências sobre a questão de pesquisa ocorreu a partir da análise das respostas dos alunos para as questões presentes nos guias experimentais de cada etapa do processo dos Episódios de Modelagem. Por exemplo, no guia experimental do Episódio de Modelagem sobre geração de energia, havia a seguinte questão teórica: “Se, ao invés de aproximar o ímã da bobina, o ímã for afastado, a força eletromotriz permaneceria negativa? Justifique.” Para este questionamento, o grupo 2 justificou: “Sim, ela continuará negativa, pois quando o ímã é afastado o fluxo diminui”. Com essa resposta o grupo demonstrou entendimento em relação ao fluxo magnético, porém não entenderam a relação entre a força eletromotriz e a variação do fluxo magnético. Também realizamos análises e observações comportamentais dos alunos durante o desenvolvimento de cada etapa e elaboramos um relato circunstanciado sobre cada grupo de alunos, buscando evidências do alcance ou não dos objetivos de aprendizagem apresentados nos Quadros 1 e 2, referentes aos episódios sobre pêndulo simples e geração de energia elétrica, respectivamente. Para realizar a avaliação dos objetivos embasados no conceito de aprendizagem significativa, analisamos cada grupo atribuindo-lhes três escalas, que definimos como:

- *Atingiu Completamente (AC)*: o grupo foi capaz de estabelecer relações substantivas e não arbitrárias durante a realização das atividades;
- *Atingiu Parcialmente (AP)*: o grupo demonstrou indícios de aprendizagem significativa, porém não foram predominantes;
- *Não Atingiu (NA)*: o grupo não foi capaz de estabelecer relações substantivas e não arbitrárias durante a realização das atividades ou não realizou as atividades referentes ao objetivo.

No Quadro 3, mostramos exemplos de comentários gerais atribuídos a cada uma das escalas citadas acima, de acordo com as respostas dadas pelos grupos.

Quadro 3: Exemplos de análise para cada escala

Escala	Objetivo de Aprendizagem	Contexto da Atividade	Exemplos de respostas	Análise das respostas
AC	Episódio de Modelagem II: Prever o comportamento da força eletromotriz a partir da interação entre ímãs e bobinas.	<p>Para a realização desta atividade, os alunos receberam um guia experimental com explicações teóricas e cinco questões referentes ao comportamento da força eletromotriz em relação à interação entre ímãs e bobinas, por exemplo:</p> <p>Predição 1.1 – Ao aproximar um ímã de uma bobina a força eletromotriz induzida é constante durante todo o intervalo de tempo enquanto o ímã estiver em movimento?</p> <p>Predição 1.2 – Ao aproximar um ímã de uma bobina a força eletromotriz induzida independe do intervalo de tempo gasto para deslocar o ímã?</p> <p>Predição 1.3 – Se um ímã está a 10 cm de uma bobina e é deslocado para a distância de 6 cm em um intervalo de 1 segundo e em seguida para a distância de 2 cm (mesmo deslocamento de 4 cm) a força eletromotriz induzida em ambos os casos terá o mesmo valor?</p>	<p>O grupo 2 demonstrou entendimento em relação à diferença de potencial gerada em uma pilha, marcando os gráficos com diferença de potencial constante e ainda destacando que mais de um gráfico foi escolhido pois “depende se é positivo ou negativo”.</p> <p>O grupo 3 demonstrou entendimento em relação à velocidade, respondendo: “Depende sim, amplitude varia de acordo com a velocidade.”</p> <p>O grupo 3, em relação à distância entre o ímã e a bobina, respondeu que a força eletromotriz induzida não seria a mesma “Porque, se o ímã estiver mais perto, maior será a f.e.m”.</p>	Mesmo com respostas iniciais erradas, os grupos demonstraram melhor entendimento, por meio de respostas corretas, após a manipulação com os materiais experimentais. Por isso, a classificação foi “atingiu completamente” o objetivo de aprendizagem.
AP		<p>Após a realização dessa etapa, em uma mesa à frente da sala foram disponibilizados materiais para o desenvolvimento experimental, sendo eles: ímãs; bobinas; galvanômetros; cabos; resistores e pilhas. Com esses materiais os alunos deveriam investigar experimentalmente a respeito de suas respostas. Solicitamos que caso alterassem sua resposta devido à</p>	<p>O grupo 1 não soube interpretar a equação que representa a força eletromotriz ao responderem que a mesma independe do intervalo de tempo. E com a resposta da questão 3, mostram que não entenderam a relação entre força eletromotriz e a variação do fluxo magnético.</p> <p>Ao interagir com o material, o grupo 4 demonstrou entendimento em relação à força eletromotriz, sendo a resposta da questão 1: “Não (será constante), porque quando aproxima</p>	Respostas sucintas, sem justificativas dificultaram a análise dos conhecimentos dos estudantes. Não cumprir totalmente com o que foi pedido, no caso dessa atividade era preciso responder às questões antes de interagir com o material, também influenciou na classificação dos grupos como “atingiu parcialmente” o objetivo de aprendizagem. Além de apresentarem respostas equivocadas mesmo após interação com material.

		experimentação, colocassem ao lado de sua predição.	e afasta dependendo do lado do imã diferente, eles invertem seus polos.”. Em relação ao intervalo de tempo, o grupo respondeu: “Muda, com (movimento) mais rápido a amplitude é maior, e mais lento será menor.”.	
NA	Episódio de Modelagem I: <i>Identificar que resultados fornecidos pelo modelo teórico podem não convergir com resultados experimentais.</i>	Para o desenvolvimento desta atividade, cada grupo recebeu um guia experimental contendo uma tabela para auxiliar os alunos na sua primeira coleta de dados, mostrando quais dados era necessário coletar. Os grupos precisavam montar um pêndulo de laboratório com os materiais disponíveis: base; corpos de massas diferentes e cordão. Os alunos tiveram a liberdade para escolher os comprimentos do fio e as massas do corpo, para então determinar o período de oscilação para quatro amplitudes diferentes, e deveriam fazer três tomadas de tempo para cada situação para então fazer a média aritmética simples. Com os períodos obtidos experimentalmente, os grupos deveriam comparar com os valores dos períodos determinados teoricamente.	Em relação a questão sobre o motivo da diferença entre os períodos teórico e experimental, o grupo 2 respondeu: “porque a gravidade e as fórmulas são diferentes.”. Já o grupo 5 respondeu: “porque o experimental é a prática manual e o teórico é feito com fórmulas podendo utilizar calculadora.”	Tais respostas demonstram que os estudantes tiveram dificuldades nas repostas por não compreender a o conceito de período, além de deixar questões em branco. Por este motivo foram classificados como “não atingiu” o objetivo de aprendizagem.

Fonte: Dados dos autores

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No que segue, expomos os resultados da investigação. Optamos por dividir essa seção em duas subseções. Na primeira delas, apresentamos um relato sintético das atividades para evidenciar as dinâmicas realizadas nas atividades; na segunda, as evidências de aprendizagem significativa identificadas.

I. Relato das Atividades

Optamos por apresentar essa seção subdividida em seções relacionadas com o desenvolvimento de cada atividade inspirada na metodologia de Episódios de Modelagem. Ao final do desenvolvimento dos episódios, realizamos uma discussão sobre questões vinculadas com a modelagem. Essa discussão foi realizada por meio da apresentação de afirmativas, através das quais tínhamos como objetivo identificar o entendimento dos alunos com relação ao aparato experimental em contraste com a situação real representada, a importância de um modelo teórico para o desenvolvimento experimental, e a diferença entre dados teóricos e experimentais. No que segue, os elementos mais importantes dessas implementações são destacados.

Episódio de Modelagem I: Pêndulos

i) Discussão Inicial

Para o desenvolvimento desta etapa, foram utilizadas seis horas-aula divididas em três encontros consecutivos. No primeiro encontro realizamos uma apresentação sobre modelagem científica. Queríamos que os alunos entendessem a importância de sua participação ao longo das atividades. Para apresentar a metodologia, começamos mostrando, por meio de *slides*, figuras de situações cotidianas que possuem movimentos oscilatórios e, a partir de discussões sobre essa situação, propusemos que o entendimento dessas situações pode ser aprofundado por meio do modelo newtoniano de pêndulos simples, destacando as simplificações da realidade consideradas nesse modelo teórico. É importante destacar que, apesar de serem alunos do 3º ano do Ensino Médio, eles não haviam estudado esse conteúdo em anos anteriores. Por este motivo, discutimos os conceitos de oscilação, período e frequência. Em busca de um melhor entendimento por parte dos alunos, apresentamos movimentos cotidianos que podem ser representados por esse modelo, como, por exemplo, uma criança brincando em um balanço e, a partir destas relações, introduzimos princípios da modelagem científica destacando seus processos. Posteriormente, aplicamos um questionário inicial composto por cinco questões sobre interpretação e construção gráfica. Os alunos demonstraram dificuldades em identificar dados de tempo e posição da situação apresentada com as quais deveriam gerar uma tabela para, então, construir o gráfico representativo do movimento.

Nos segundo e terceiro encontros, foi realizada uma atividade experimental inicial. Ela foi proposta levando-se em consideração que os alunos não possuíam conhecimento prévio sobre o desenvolvimento de etapas experimentais como: montagem, coleta, interpretação e análise experimental. Desta forma, foi possível acompanhá-los no desenvolvimento e auxiliá-los quando tiveram dúvidas, como, por exemplo, na realização de medidas de ângulo, determinação do ponto de referência para o lançamento do pêndulo e uso do cronômetro. Com esta atividade inicial, buscamos evidenciar o papel do aparato experimental em relação à situação real modelada, bem como o significado do modelo teórico definido para a realização da modelagem. Para o desenvolvimento dessa atividade, os grupos precisavam montar um pêndulo de laboratório (Figura

1) com os materiais disponíveis: base; corpos de massas diferentes e cordão (Figura 2), escolhendo os comprimentos do fio e as massas do corpo para, então, determinar o período de oscilação.



Figura 1: Pêndulo de laboratório



Figura 2: Materiais disponíveis para os grupos

Fonte: Acervo dos autores

Os grupos deveriam determinar o período de oscilação para quatro amplitudes diferentes e deveriam fazer três tomadas de tempo para cada situação para, então, fazer a média aritmética simples desses dados. Durante a realização da atividade, percebemos que três grupos demonstraram mais agilidade na execução dos experimentos, estando mais dispostos a participar, enquanto que foi necessário estimular os outros três grupos a iniciar a atividade. Todos os grupos realizaram as mesmas alterações de parâmetros, sendo que as amplitudes eram predefinidas e o comprimento do fio, escolhido pelos grupos.

Para a finalização desta etapa, realizamos uma discussão conceitual sobre análise gráfica, apresentamos a função trigonométrica que representa o Movimento Harmônico Simples (MHS) e, então, revisamos brevemente as funções seno e cosseno. Utilizamos uma imagem representativa de um pêndulo simples para que os alunos pudessem identificar e compreender as posições dele durante seu movimento, assim como as acelerações relacionadas a cada posição. Um gráfico de posição *versus* tempo foi apresentado aos alunos, e foram discutidas características de uma oscilação, destacando conceitos como picos e vales (Figura 3). Em seguida, um gráfico de aceleração *versus* tempo também foi apresentado, buscando evidenciar pontos onde poderia se considerar que se completava uma oscilação (Figura 4)⁴.

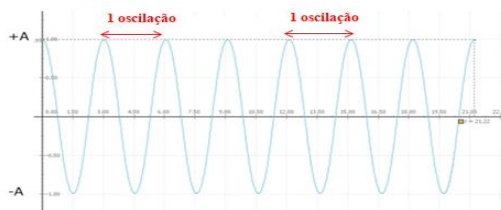


Figura 3: Análise gráfica – posição versus tempo

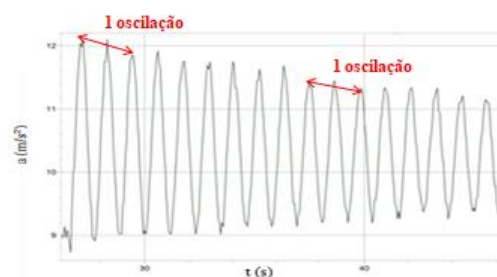


Figura 4: Análise gráfica – aceleração versus tempo

Fonte: Autores

⁴ Uma explicação mais detalhada sobre esta análise gráfica pode ser encontrada em: “link omitido para resguardar a identidade dos autores”

Para finalizar esta discussão, utilizamos o software Modellus para mostrar uma representação do movimento de um pêndulo simples, com o qual foi possível alterar parâmetros do tipo, comprimento do fio, amplitude inicial e massa do corpo suspenso.

ii) *Investigação*

Para a realização da segunda etapa, utilizamos seis horas-aula divididas em dois encontros consecutivos. No primeiro encontro foi realizada a atividade experimental proposta para a investigação do episódio. Para a realização desta atividade, os grupos receberam um guia denominado “Questões Norteadoras para o Desenvolvimento de Experimentos”, contendo 14 questões divididas em seis categorias, sendo elas: objetivo da investigação; modelagem do evento investigado; planejamento do experimento; execução do experimento; análise dos dados coletados, e conclusões. Este guia teve como objetivo auxiliar os alunos no processo de desenvolvimento experimental.

Para esta etapa, os grupos também receberam um guia experimental em que consta um texto inicial sobre pêndulos, que busca despertar o interesse dos alunos no desenvolvimento da atividade, e expor os objetivos da realização desta etapa. Em seguida, o guia apresenta três possibilidades de desenvolvimento experimental, alterando-se os parâmetros cujas influências seriam investigadas: comprimento do fio, massa do corpo suspenso e amplitude de oscilação. Frente a essas opções, os alunos ficaram perdidos quanto à escolha da investigação que fariam, por isso, em debate particular com cada grupo, definimos o experimento que cada um realizaria, bem como quais instrumentos de coleta de dados cada grupo utilizaria. Essa foi uma adaptação realizada em comparação às propostas dos Episódios de Modelagem, visto que o objetivo seria deixar os alunos tomar as decisões para o desenvolvimento experimental, o que não ocorreu com os alunos do Ensino Médio devido à pouca experiência com este tipo de atividade. Como a turma foi dividida em seis grupos, dois grupos realizaram o mesmo experimento, porém utilizando ferramentas de coleta de dados distintas, sendo elas: a placa Arduino associada a um acelerômetro, e a vídeo análise, com o software Tracker. Cada grupo recebeu um guia sobre a utilização da sua ferramenta, já que era sabido que os alunos não possuíam conhecimentos prévios sobre sua utilização. Durante este encontro, o grupo 2 não conseguiu finalizar a atividade, pois, ao gerar o gráfico do movimento, utilizando os dados coletados por meio do Arduino, perceberam que a curva não estava se formando como a teoricamente esperada. Esta percepção dos alunos em relação ao gráfico construído nos dá indícios de uma aprendizagem por parte deste grupo, já que eles foram capazes de entender que o gráfico gerado não estava de acordo com o comportamento esperado, ou seja, formando oscilações, pois havia muitos ruídos captados pelo sensor. Então eles solicitaram ajuda para resolver este problema.

No segundo encontro, os grupos 1, 3, 4 e 5 realizaram as análises dos resultados e o grupo 2 finalizou a coleta e análise de dados. Nesta etapa da atividade os alunos puderam comparar os resultados experimentais com os resultados previstos pela teoria. O grupo 3, que realizou a coleta de dados a partir de vídeo análise, percebeu que havia um problema nos dados experimentais quando comparados com os dados teóricos. Neste grupo era necessária a alteração do comprimento do fio e os alunos perceberam que os períodos experimentais estavam diminuindo com o aumento do comprimento, enquanto que os períodos teóricos mostravam uma relação contrária. Esta percepção do grupo evidencia o entendimento da relação entre teoria e experimento, isto é, apesar de não terem encontrado valores próximos, a proporcionalidade prevista pela teoria deveria se cumprir. Finalizando a atividade, os grupos organizaram seus resultados em um cartaz para apresentá-lo para a turma na etapa da discussão final.

iii) *Discussão Final*

A última etapa, em que se busca discutir com o grande grupo os resultados e conclusões, foi realizada em uma hora-aula. Cada grupo organizou em um cartaz seus resultados para que pudéssemos discutir as conclusões das atividades realizadas. Foi necessário realizar perguntas aos grupos para uma discussão conjunta, pois os alunos demonstraram insegurança para falar diante da turma. Para a apresentação de cada grupo, foi realizada uma discussão sobre suas conclusões, levando em consideração se estavam dentro dos resultados esperados, de acordo com o modelo teórico utilizado e a alteração de parâmetros. É importante ressaltar que tínhamos como objetivo apresentar para os alunos que modelos teóricos possuem domínio de validade. Por este motivo, durante a discussão dos grupos 1 e 2, por exemplo, destacamos que a teoria previa que a mudança da amplitude de lançamento não deveria alterar o período do pêndulo, desde que se estivesse seguindo as condições do domínio de validade deste modelo teórico que se refere a pequenas amplitudes, considerando a aproximação $\sin\theta \approx \theta$ (para θ em radianos). Durante a discussão dos grupos 3 e 4, eles destacaram a característica de que, à medida que diminuíram o comprimento do fio, o período de oscilação também diminuía. Esta característica foi percebida tanto no período teórico quanto no período experimental, e nós a evidenciamos lembrando a relação teórica que possui prevê proporcionalidade entre o período e a raiz quadrada do comprimento do fio. Na discussão do grupo 5, destacamos que a alteração da massa não era uma característica prevista pela teoria para a alteração do período do pêndulo, por isso o período teórico se manteve o mesmo para as três massas utilizadas, mas uma alteração do período experimental foi percebida.

Episódio de Modelagem II: Geração de Energia

Para o desenvolvimento do Episódio de Modelagem II sobre geração de energia elétrica, realizamos uma visita técnica à Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica – Eletrobras (CGTEE), com o acompanhamento de um profissional que possui experiência tanto no processo de funcionamento da usina quanto no ambiente real de sala de aula. Por meio deste episódio, tínhamos como objetivo evidenciar que os experimentos de laboratório são controlados e que tal controle é dirigido pelas simplificações do modelo de referência, mas esses experimentos nos possibilitam contrastar modelos e compreender eventos que extrapolam a sala de aula.

i) *Discussão Inicial*

Para a apresentação do segundo Episódio de Modelagem, utilizamos três horas-aula divididas em dois encontros. No primeiro encontro, os alunos responderam a um questionário inicial contendo quatro perguntas investigativas para sondagem do conhecimento prévio. No segundo encontro, discutimos com os alunos os tipos de energia e suas formas de geração. Em seguida, discutimos estes tópicos relacionando-os com a vida dos alunos. Os tipos de usinas e a capacidade de geração de cada uma delas no Brasil também foram abordados. Com isso, incentivamos uma discussão em torno dos dados apresentados sobre a capacidade de geração de usinas brasileiras.

Após a discussão sobre as usinas de geração de energia, perguntamos aos alunos sobre outras formas de geração de energia. Exemplos foram dados por eles, como o de acender as luzes de uma maquete pedalando. A partir disso, passamos para a análise dos processos de uma usina termoeletrica e discutimos o que os diferentes tipos de usina possuíam em comum, baseado na pesquisa que eles haviam feito na aula anterior. Os alunos comentaram que a turbina era o componente comum às usinas. Para finalizar esta etapa, apresentamos uma discussão conceitual

evidenciando cada uma das etapas de uma usina termoelétrica; em seguida, fizemos uma breve revisão dos conceitos de carga elétrica, corrente elétrica, campo elétrico e força eletromotriz. Discutimos algumas características dos ímãs e do campo magnético para, então, definir fluxo magnético.

ii) *Investigação*

A segunda etapa foi desenvolvida ao longo de nove horas-aula dividida em quatro encontros. No primeiro encontro, com duas aulas seguidas, retomamos o que havíamos trabalhado na aula anterior. Usando exemplo sobre motores, introduzimos a Lei de Faraday-Lenz, que trata da geração de uma força eletromotriz induzida a partir da variação do fluxo magnético. Em seguida, retomou-se a discussão sobre os conceitos de força eletromotriz induzida e fluxo magnético. Ao mostrar a equação da força eletromotriz, foi destacado que esta tem sinal oposto ao da variação do fluxo magnético. Ao final desta discussão, foi solicitado aos alunos que se organizassem em grupos e lhes foi entregue um guia experimental, com explicações teóricas, para que eles pudessem ler, refletir e posteriormente, responder cinco questões que denominamos “predições”.

Em uma mesa à frente da sala foram disponibilizados ímãs, bobinas, galvanômetros, cabos, resistores e pilhas (Figura 5) para que os alunos pudessem investigar experimentalmente suas respostas. Após, pedimos que respondessem as mesmas questões, e colocassem suas novas respostas ao lado de sua predição, a fim de compará-las.



Figura 5: Materiais disponibilizados para a investigação

Fonte: Acervo dos autores

Ao final da aula, retomamos as questões presentes no guia. Como se pode perceber, este Episódio de Modelagem sobre geradores elétricos foi desenvolvido de forma qualitativa. No segundo encontro, relembramos as etapas da usina termoelétrica, discutimos o papel do carvão, ou outra fonte de calor, necessária no processo de geração de energia, pois esta é responsável por aquecer certa quantidade de água para então gerar vapor, sendo este o responsável pelo movimento mecânico da turbina que movimentará os ímãs ou as bobinas, dependendo do sistema do gerador. Nesse momento foi mostrado um gerador elétrico de laboratório (Figura 6), ressaltando que este era uma representação parcial do gerador real utilizado na usina.

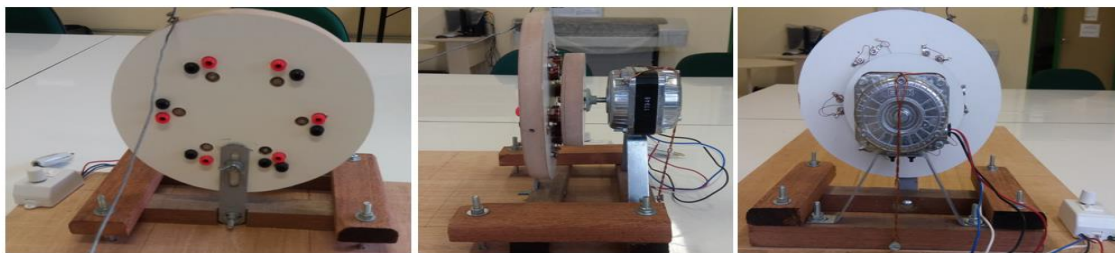


Figura 6: Gerador elétrico de laboratório

Fonte: Acervo dos autores

Assim, com os alunos em volta do gerador, fizemos demonstrações de seu funcionamento ligado a um voltímetro para que eles pudessem identificar as diferenças de tensão alterando-se alguns parâmetros, como velocidade de rotação dos ímãs, número de bobinas ligadas em série, o número de espiras e a distância entre os ímãs e as bobinas. Após estas demonstrações, ligamos um LED ao circuito para que os alunos pudessem perceber a influência destas alterações pelo seu brilho. Apesar de sutil, os alunos acharam interessante a oscilação do brilho. Para finalizar a aula, entregamos um questionário composto por cinco questões sobre o funcionamento do gerador elétrico de laboratório e o comportamento da força eletromotriz ao alterar sua velocidade de rotação do motor; número de espiras de uma bobina e a distância entre ímãs e bobinas.

Para o último encontro desta etapa, realizamos uma visita técnica à CGTEE para a qual utilizamos cinco horas-aula. Na realização desta atividade, dos 27 alunos da turma, apenas 12 estavam presentes. Tal redução ocorreu devido ao mau tempo no dia da visita. Os grupos receberam um questionário sobre a visita técnica antes que ela fosse realizada, com o objetivo de norteá-los para que percebessem relações entre os conceitos estudados e o que estava sendo observado na visita. Conhecemos todas as etapas de funcionamento da usina e as salas de controle. Os alunos ficaram bastante empolgados com o tamanho da estrutura e com todas as etapas de geração de energia. As discussões realizadas pelos professores durante a visita foram extremamente relevantes, principalmente na etapa do gerador elétrico, quando foram discutidas exatamente as características que havíamos trabalhado em aula, e aproveitamos para destacar pontos em que podíamos comparar o funcionamento dos dois geradores elétricos.

iii) Discussão Final

Na última aula do desenvolvimento do episódio, os alunos que participaram da visita técnica expuseram para seus colegas suas impressões e os elementos que mais lhe chamaram a atenção. Começamos a discussão e os alunos foram complementando-a, falando sobre os locais que visitamos e assim relembramos o funcionamento de cada uma das etapas. Em determinados momentos, fazíamos perguntas como: “Quanto mesmo de carvão o professor falou que era necessário para gerar energia?”. O aluno 11, que não costumava participar tampouco ajudar seu grupo nas atividades, respondeu, demonstrando interesse na visita técnica realizada. Em relação à visita, os grupos comentaram que ela foi realizada para que conhecessem e soubessem como funcionam as etapas de geração de energia de uma usina termoeletrica. É importante destacar que este episódio foi desenvolvido de forma qualitativa, o que influenciou nas avaliações devido às respostas mais diretas, que os alunos estão mais habituados.

II. Evidências de Aprendizagem Significativa

A partir do relato acima exposto, buscamos apontar evidências do cumprimento dos objetivos de aprendizagem propostos nos Quadros 1 e 2 para cada episódio desenvolvido. Com a realização da nossa pesquisa, utilizando o Episódio de Modelagem como metodologia de aprendizagem, pôde-se evidenciar a importância das três etapas para o desenvolvimento de atividades experimentais no Ensino Médio. A etapa da discussão inicial é fundamental para a proposição dos experimentos, pois desta forma podemos preparar os alunos para o processo do desenvolvimento experimental a ser realizado na etapa da investigação, que se caracteriza por propiciar à turma uma forma diferente de aprendizagem, pois os alunos precisavam se envolver em todas as aulas para o desenvolvimento da atividade experimental e, então, relacioná-la com as características teóricas que havíamos discutido. A etapa da discussão final possibilitou aos alunos expor suas impressões sobre o que investigaram, constituindo-se em uma das etapas mais desafiadoras para os alunos do Ensino Médio.

A partir do Quadro 4, podemos perceber que as categorias atingidas são coerentes com as características observadas de cada grupo. O grupo 3 foi o que demonstrou mais evidências de aprendizagem significativa, visto que atingiu completamente cinco dos oito objetivos analisados e atingiu parcialmente os demais três. Com isso, temos indícios de que os materiais disponibilizados fizeram sentido para estes alunos, visto que eles estiveram envolvidos no desenvolvimento dos episódios. Já o grupo 4 foi o que demonstrou maior dificuldade em desenvolver as atividades, sendo que não atingiu quatro dos oito objetivos. As avaliações negativas deste grupo se devem ao fato de eles terem deixado em branco as questões dos três questionários sobre o Episódio II, mostrando que os materiais não tiveram significado para eles e/ou que os materiais não foram capazes de despertar-lhes o interesse. Os grupos 1 e 2 atingiram completamente quatro dos oito objetivos, mostrando engajamento no desenvolvimento das atividades, e atingiram parcialmente três dos oito objetivos. Nesses grupos identificamos dificuldades para apresentar respostas de forma qualitativa. Já o grupo 5 atingiu parcialmente cinco dos oito objetivos, tendo poucas evidências de aprendizagem significativa.

Em relação à frequência de alcance dos objetivos, podemos perceber que, no Episódio de Modelagem I, os objetivos de aprendizagem que se referem a procedimentos experimentais (I, III e IV) foram atingidos completamente por um número significativo de grupos. Já que os grupos foram capazes de: medir experimentalmente o período de um pêndulo de laboratório (objetivo I) utilizando os materiais disponibilizados; analisar um gráfico de posição *versus* tempo e a partir dele determinar o período do pêndulo de laboratório (objetivo III) e determinar o período de oscilação de um pêndulo de laboratório alterando parâmetros como: comprimento do fio, massa do objeto e amplitude de oscilação (objetivo IV). Tais resultados, baseados em respostas dos estudantes, corroboram observações realizadas durante as aulas de que os estudantes relacionaram de forma não arbitrária os conceitos envolvidos com os seus conhecimentos prévios e os dados experimentais, pois os procedimentos necessários não eram de uma simples tarefa e sim algo que requeria o estabelecimento de relações entre conceitos e medidas experimentais. Assim, temos indícios de aprendizagem significativa, uma vez que os estudantes foram capazes de apresentar relações não literais e justificativas sobre como obter o período de oscilação, além de investigar os parâmetros que influenciam significativamente no período de um pêndulo.

Para o Episódio de Modelagem II, não tivemos as mesmas características, já que os objetivos II e III, que se referem aos procedimentos experimentais, foram atingidos parcialmente. Isso mostra que os estudantes apresentaram maior dificuldade em elaborar respostas a partir de observações de fenômenos, sem haver medidas e cálculos. Uma vez que os estudantes tinham que prever o comportamento da força eletromotriz a partir da interação entre ímãs e bobinas (objetivo II), ou seja, somente observando o comportamento do galvanômetro durante a interação do material, e identificar o comportamento da força eletromotriz de acordo com a alteração da velocidade de

rotação do motor; do número de espiras em uma bobina e a distância entre ímãs e bobinas (objetivo III), que também demandou dos estudantes uma análise crítica do fenômeno que estavam observando a partir da alteração do brilho do LED e da leitura do voltímetro ligado ao circuito. Dessa forma, os estudantes interagiram significativamente com os materiais, porém não demonstraram, por meio de suas respostas, entendimento satisfatório dos conceitos envolvidos. Essa característica pode ser observada em outros objetivos, como por exemplo, os objetivos II e V do Episódio sobre pêndulo, e I e IV do Episódio de geração de energia, que se referem a reflexões e discussões sobre convergências e divergências entre resultados teóricos e experimentais, obtiveram uma distribuição quase que uniforme, pois, somando-se a ocorrência das categorias, encontramos 7 de 22 possibilidades que os atingiram completamente, 7 de 22 que os atingiram parcialmente e 8 de 22 que não os atingiram. O que mostra, mais uma vez, a dificuldade dos alunos em desenvolver objetivos que necessitam de reflexões e discussões. No entanto, tais resultados não demonstram a falta evidências de aprendizagem significativa, mas sim uma dificuldade dos alunos de apresentar reflexões sobre os resultados encontrados (possivelmente pelo ensino expositivo que estão habituados). Entendemos que a continuação de implementação de novos episódios poderia fomentar progressivamente nos estudantes uma maior aptidão em questões que requeiram reflexões e discussões, pois “a aprendizagem significativa é progressiva, grande parte do processo ocorre na zona cinza, na região do mais ou menos, onde o erro é normal” (MOREIRA, 2012 p. 24).

Concluída a análise dos grupos, temos indícios de que três grupos (1, 2 e 3) apresentaram evidências de aprendizagem significativa ao longo dos episódios, demonstrando entendimento dos conceitos trabalhados e relacionando teoria e prática de forma substantiva, levando em consideração o domínio de validade das teorias estudadas. O grupo 5 atingiu predominantemente os objetivos de forma parcial, precisaram ser estimulados para o desenvolvimento das atividades e trabalharam com o intuito de concluí-las e, em várias situações, não apresentaram evidências de terem entendido o significado do que estava sendo proposto, respondendo de forma incompleta. Já o grupo 4 apenas concluiu as atividades de coleta e análise experimentais, com o uso da plataforma Arduino, sem finalizar todas as atividades que demandavam reflexões e conhecimentos teóricos, demonstrando que os materiais não foram significativos para eles.

Quadro 4: Análise dos objetivos de aprendizagem dos Episódios I e II

	Grupos	1			2			3			4			5			6			Frequência das categorias por objetivo		
	Objetivos	AC	AP	NA	AC	AP	NA	AC	AP	NA	AC	AP	NA	AC	AP	NA	AC	AP	NA	AC	AP	NA
Episódio de Modelagem I	I	X			X			X				X		X			X			5/6	1/6	0/6
	II		X				X		X				X			X			X	0/6	2/6	4/6
	III e IV	X			X			X			X				X			X		4/6	2/6	0/6
	V	X				X		X			X			X					X	4/6	1/6	1/6
Episódio de Modelagem II	I	X			X			X					X		X		-	-	-	3/5	1/5	1/5
	II		X		X			X				X			X		-	-	-	2/5	3/5	0/5
	III		X			X			X				X		X		-	-	-	0/5	4/5	1/5
	IV			X		X			X				X		X		-	-	-	0/5	3/5	2/5
Frequência das categorias por grupo		4/8	3/8	1/8	4/8	3/8	1/8	5/8	3/8	0/8	2/8	2/8	4/8	2/8	5/8	1/8	1/4	1/4	2/4			

Fonte: Dados dos Autores

A partir destas constatações, temos indícios de que, dos cinco grupos, houve quatro que demonstraram evidências de aprendizagem significativa. Em relação às condições para a ocorrência da aprendizagem significativa, consideramos que, quando as atividades envolviam coleta de dados, todos os grupos manifestaram predisposição para aprender e se empenharam em apresentar respostas com significado, ou seja, articulando seus conhecimentos com os conteúdos presentes nos episódios. Assim, consideramos que as duas condições para a ocorrência da aprendizagem significativa, predisposição para aprender e material potencialmente significativo, foram satisfeitas, apesar de alguns grupos não as terem atingido em todas as etapas dos episódios, principalmente nos momentos das discussões finais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso dos Episódios de Modelagem pôde propiciar a realização de atividades experimentais dentro da sala de aula de Física do Ensino Médio de forma integrada à teoria que estava sendo estudada, sem a necessidade de haver um momento ou um espaço único para elas. Ao longo da aplicação das atividades, também tivemos a oportunidade de readaptar os materiais para que fizesse cada vez mais sentido para o maior número possível de alunos. O desenvolvimento das atividades foi progressivo de forma que uma complementasse a outra e, juntas, elas compuseram as três etapas de cada um dos Episódios de Modelagem.

Para o desenvolvimento do Episódio I, sobre pêndulos, usamos como base o episódio de Heidemann (2015), proposto para o Ensino Superior, e tivemos o objetivo de oportunizar aos alunos contato com os processos de uma atividade experimental, tais como: manipulação do aparato experimental, coleta e análise de dados. Assim, propomos desde a etapa de discussão inicial uma prática para que os alunos pudessem reconhecer esses processos. Nesse episódio tínhamos como objetivo introduzir a modelagem científica para os alunos do Ensino Médio, que quase nunca ou nunca haviam realizado esse tipo de atividade. Por isso, nós os orientamos ao longo de todos os processos de forma que as atividades fizessem sentido para eles. Como podemos ver nos resultados, houve um número significativo de objetivos alcançados completamente, mostrando que os alunos estiveram, na maior parte, predispostos a participar das atividades propostas e interagiram de forma satisfatória com os materiais produzidos.

No Episódio II procuramos reforçar a importância de refletir sobre o conteúdo estudado, por isso as atividades desenvolvidas foram predominantemente qualitativas. Tínhamos como objetivo incentivar os alunos a refletirem mais, a realizarem relações com o que já haviam estudado e esperávamos respostas com discussões mais elaboradas. No entanto, foi neste aspecto que percebemos grandes dificuldades dos alunos. Como se pode identificar no Quadro 4, tivemos menores índices de objetivos atingidos completamente, porém esta atividade chamou mais a atenção dos alunos pelo fato de o tema ser mais presente em seu cotidiano.

De forma geral, os alunos demonstraram maior predisposição para participar e aprender na etapa de investigação dos episódios, evidenciando que eles têm interesse em realizar atividades diferenciadas. As etapas das discussões iniciais e finais não despertaram o interesse nos alunos, visto que se mostraram mais passivos e inibidos para realizar as discussões. Com base no objeto de pesquisa, podemos evidenciar que o uso da modelagem científica corrobora a importância de apresentar o conteúdo a ser estudado com um

questionamento que envolva situações presentes na vida dos alunos para que, desta forma, eles tenham como relacionar os novos conceitos com os conhecimentos que já possuem.

Os processos da modelagem nos permitem organizar o desenvolvimento das aulas de modo a construir materiais potencialmente significativos. É importante ressaltar as características que observamos na etapa da investigação dos dois Episódios de Modelagem, que deixaram clara a importância de envolver os alunos em seu processo de aprendizagem. Nessa etapa, inicialmente tivemos alunos que se mostraram resistentes em participar das atividades, mas, ao utilizarmos certas ferramentas, como foi o caso da plataforma Arduino, tivemos a participação da totalidade deles. Estes indícios mostram que o uso dos Episódios de Modelagem desperta a predisposição dos alunos para aprender e para participar. No entanto, percebemos maior dificuldade dos alunos nas etapas de discussão inicial e final, visto que nestes momentos eram necessárias reflexões teóricas sobre o que estava sendo estudado, como, por exemplo, os conceitos de fluxo magnético e indução eletromagnética discutidos no segundo Episódio de Modelagem. Isso demonstra a dificuldade dos alunos do Ensino Médio em realizarem interpretações dos conteúdos estudados, mesmo utilizando uma metodologia de aprendizagem diferente do habitual.

Com relação à utilização dos Episódios de Modelagem como metodologia de ensino para o Ensino Médio, podemos concluir que ela contribuiu para que alguns dos alunos compreendessem o papel dos modelos teóricos no planejamento e na realização de experimentos. Nas questões do questionário respondido pelos alunos em que tinham que se posicionar sobre as afirmativas “Para realizar uma atividade experimental não é necessário ter um modelo teórico.”; “Um dado teórico sempre será igual ao um dado experimental, por exemplo: o período teórico de um pêndulo será igual ao período medido experimentalmente.” e “Os resultados de um experimento devem ser iguais aos resultados previstos teoricamente.”, das 80 respostas apresentadas, 45 foram entre discordo e discordo completamente. Isso corrobora que a utilização dos Episódios de Modelagem traz melhorias no desenvolvimento do conhecimento científico dos alunos da Educação Básica. A partir desses resultados, com estudantes do Ensino Médio se envolvendo em processos da modelagem científica por meio dos Episódios de Modelagem, e demonstrando melhor compreensão sobre o papel do experimento no fazer científico, pode-se perceber que é possível levar para a Educação Básica um fazer científico contextualizado e reflexivo. Dessa forma, o Episódio de Modelagem se mostrou um caminho para incentivar discussões sobre aspectos epistemológicos do conhecimento científico. Como perspectivas futuras, pretende-se explorar o enfoque no processo de modelagem científica na Educação Básica de forma associada aos trabalhos em Feiras de Ciências, visando proporcionar aos estudantes e professores desse nível de ensino reflexões sobre a natureza da ciência e sobre o fazer científico, respeitando seus conhecimentos prévios e seus objetivos.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, 2002.

BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Editora Perspectiva, 2013.

DORNELES, P. F. T. **Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em Física Geral.** 2010. 367 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

HAAG, R., ARAUJO, I. S., VEIT, E. A. **Por que e como introduzir a aquisição automática de dados no laboratório didático de física?** *Física na escola.* v. 6, n. 1, p. 69-74, 2005.

HEIDEMANN, L. A. **Ressignificação das atividades experimentais no ensino de Física por meio do enfoque no processo de modelagem científica.** 2015. 298 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. **Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica: uma alternativa para a resignificação das aulas de laboratório em cursos de graduação em física.** *Revista brasileira de ensino de física.* São Paulo. Vol. 38, n. 1 (jan./mar. 2016), 1504, 15 p., 2016.

_____. **Modelagem Didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física.** *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,* v. 33, n. 1, p. 3-32, 2016.

_____. **Ciclos de modelagem: uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no Ensino de Física.** *Caderno brasileiro de ensino de física.* Florianópolis. v. 29, p. 965-1007, 2012.

LOUCA, L; ZACHARIA, Z. **Modeling-based learning in Science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions.** *Educational Review.* Philadelphia. V.64, n.4, p. 471-492, Nov. 2012.

MOREIRA, M. A. A teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. In: MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006. p. 13-43.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, v. 23, 2010.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

SCHWARZ, C. V.; REISER, B. J.; DAVIS, E. A.; KENYON, L.; ACHÉR, A.; FORTUS, D.; SCHWARTZ, Y.; HUG, B.; KRAJCIK, J. **Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners.** *Journal of Research in Science Teaching,* v. 46, n. 6, p. 632-654, 2009.